经全国中小学教材审定委员会 2005 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书 · 通用技术（选修 3）

简易机器人制作

河南省基础教育教学研究室
河南科学技术出版社 组编



河南科学技术出版社
· 郑州 ·

微信公众号：电子课本大全

总 主 编　傅水根

本册主编：刘　荣

编写人员：刘　荣　李大寨　毕树生

周　强　王　巍　于靖军

责任编辑：李晓慧

美术编辑：黎隆安

责任校对：李振方

普通高中课程标准实验教科书·通用技术(选修 3)

简易机器人制作

河南省基础教育教学研究室
河 南 科 学 技 术 出 版 社　组编

★

河南科学技术出版社出版发行
(郑州市郑东新区祥盛街 27 号)

邮政编码：450016　电话：(0371) 65737028

郑州九州印务有限公司

全国新华书店经销

★

开本：890 mm × 1 240 mm　1/16　印张：9.5　字数：225 千字

2005 年 5 月第 1 版　2019 年 8 月第 24 次印刷

ISBN 978-7-5349-3125-3

定价：10.41 元

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

电话：(0371) 65788609　65721407

微信公众号：电子课本大全

致同学们

作为高中通用技术的选修模块，这本《简易机器人制作》与同学们见面了。

“机器人是本世纪自动控制最有说服力的成就，是当代最高意义的自动化”，这是著名科学家宋健院士对于机器人在20世纪所取得的成就的精辟概括。今天，机器人广泛地活跃在人类生产、生活的方方面面，已成为我们的忠实助手和朋友。

机器人集中了机械、电子、控制、计算机、人工智能等多学科的知识，已成为高科技的代名词。很多青少年也都憧憬着能亲手设计、制作自己的机器人。我们这个选修模块，将帮同学们圆了自己这个梦。本课程将向大家介绍有关机器人机械结构、控制系统和程序编写等方面的知识，并指导大家运用这些知识设计制作简易的机器人。通过这门课程的学习，同学们不仅可以温习并实践《技术与设计》中的思想和方法，还可以培养和训练自己在机电制作方面的动手能力和面向应用的编程能力。

本模块的主体内容由走近机器人、简易机器人的大脑——单片机、简易机器人的控制系统、简易机器人的机械系统、简易机器人的制作与编程五部分组成。在“走近机器人”中，我们将了解现实中机器人的应用与结构，初步接触我们要学习的简易机器人，并明确将完成的简易机器人制作任务；“简易机器人的大脑——单片机”将为我们展示简易机器人控制器的奥秘，以及为控制器编写程序的方法；“简易机器人的控制系统”将帮助我们为机器人配备传感器和输出设备，从而使机器人具有智能；“简易机器人的机械系统”将介绍机器人上常用的机械结构，以及简易机器人的拼装技巧；最后，在“简易机器人的制作与编程”中，我们将最终完成第一章中所提出的两个简易机器人的制作和编程任务；后面的第六章和附录一是提高部分，供那些希望继续深入了解机器人知识的同学选用。

本教材在内容安排上采取了“以项目引导学习过程”的结构形式，用特定的简易机器人制作项目为主线贯穿全书内容，同学们将在完成项目过程中学到机器人的相关知识。另外，同学们会发现这些项目的形式其实就是现在方兴未艾的机器人比赛，我们希望通过这种形式给大家的课堂学习注入愉悦的气氛，也让有志于参加各类机器人比赛的

微信公众号：电子课本大全

同学练练兵。在课程学习方法上，我们提倡同学们多动手实践，在制作中进行探究。为此，我们在教材中留出了足够的教学互动空间，设计了“学习导航”“现象与问题”“新视窗”“小资料”“探究尝试”“实践活动”“活动延伸”“阅读材料”等栏目。

简易机器人的教学是高中教育改革的一次全新尝试，尽管我们也力求用同学们熟悉的语言和形式，深入浅出地讲述机器人中包含的种种问题，但由于自身水平所限，书中一定存在不少错漏或不妥之处。希望同学们将学习中发现的问题向你们的老师或直接向我们指出，我们一定会虚心听取同学和老师们的意见，让这本教材在不断修订过程中日臻完善。愿我们通过《简易机器人制作》成为好朋友！

编　者

2004 年 11 月

微信公众号：电子课本大全

目 录

第一章　走近机器人 …… (1)



第一节　机器人世界 …… (2)
第二节　机器人的结构特征与简易机器人平台 …… (6)
一、机器人的结构特征 …… (6)
二、简易机器人制作的理念及方法 …… (8)
第三节　简易机器人设计 ……(12)
一、设计与制作的流程 ……(12)
二、设计任务的提出 ……(13)
三、设计方案的制订 ……(15)

第二章　简易机器人的大脑——单片机 ……(18)



第一节　什么是单片机 ……(19)
一、单片机的概念 ……(19)
二、单片机的特点 ……(21)
第二节　单片机的基本原理 ……(23)
一、单片机的基本结构及工作原理 ……(23)
二、单片机的引脚 ……(26)
第三节　单片机的开发环境 ……(31)
一、单片机的开发流程 ……(31)
二、ROYA 开发环境 ……(32)
第四节　图形化语言编程 ……(34)
一、图形化控制模块 ……(34)
二、图形化语言编程实例 ……(35)
第五节　C 语言编程 ……(43)
一、ROYA C 开发环境 ……(43)
二、C 语言的基本语法 ……(45)
三、C 语言的程序结构 ……(51)

第三章　简易机器人的控制系统 ……(58)



第一节　简易机器人控制系统的组成 ……(59)
一、简易机器人的控制系统 ……(59)
二、控制器 RoCon 接口电路 ……(60)
第二节　简易机器人常用传感器 ……(64)
一、接触传感器 ……(66)
二、光敏传感器 ……(68)
三、光电判读器 ……(70)
四、红外测障传感器 ……(72)
第三节　简易机器人常用输出元件 ……(75)

微信公众号：电子课本大全

一、发光二极管……(75)
二、蜂鸣器 ……(76)
三、电磁继电器 ……(77)
四、电机 ……(78)

第四章　简易机器人的机械系统 ……(82)



第一节　机械系统的组成 ……(83)
一、驱动装置 ……(83)
二、传动装置 ……(84)
三、执行机构 ……(84)
四、机体 ……(84)
第二节　齿轮传动机构 ……(86)
一、齿轮传动的概念、特点和类型 ……(86)
二、轮系 ……(88)
第三节　平面连杆传动机构 ……(91)
第四节　简易机器人机械系统的设计与制作 ……(95)
一、灭火升降台 ……(95)
二、抓球机械手 ……(99)

第五章　简易机器人的制作与编程 ……(106)



第一节　高台灭火机器人的制作与编程 ……(107)
一、高台灭火机器人的制作 ……(107)
二、高台灭火机器人的编程 ……(110)
第二节　巡线运球机器人的制作与编程 ……(121)
一、巡线运球机器人的制作 ……(121)
二、巡线运球机器人的编程 ……(124)
三、简易机器人的调试 ……(131)

第六章　机器人的反馈控制（选学） ……(134)
一、编码器的原理 ……(135)
二、简易旋转编码器的制作 ……(136)
三、机器人行程控制 ……(137)

附录一　机器人比赛集锦 ……(140)
一、机器人踢罐赛 ……(140)
二、机器人探险赛 ……(140)
三、机器人室内灭火赛 ……(141)
四、机器人高尔夫球赛 ……(142)

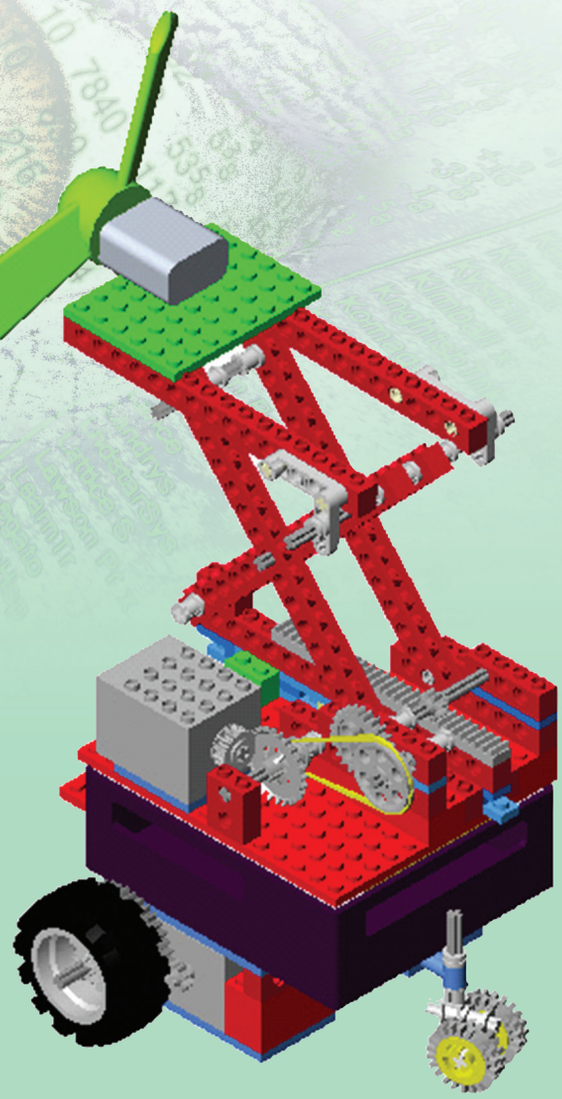
附录二　部分中英文词汇对照表 ……(143)

微信公众号：电子课本大全

第一章　走近机器人

提起机器人，大家并不陌生。它不仅在电影、电视、书籍、报刊中频频出现，而且已经深入到人类生活的很多方面，在工业、农业、服务业、军事、航天等领域得到广泛的应用。机器人在人类改造自然、促进社会发展的过程中发挥着极其重要的作用。

走近机器人，认识机器人，甚至亲手制作机器人，已成为很多青少年的憧憬。从本章开始，我们将进入机器人的世界，了解机器人的应用与发展，认识机器人的基本结构。通过一步步的学习，我们将为自己选择、设计、制作出一个机器人来。



微信公众号：电子课本大全

第一节　机器人世界

学习导航

1. 机器人能为我们做什么？
2. 如何理解机器人的定义？

现象与问题



自动吸尘机器人

现在，自动吸尘机器人已经面世了，不用人管，它就能自动吸走沿途的垃圾，还能躲避遇到的障碍物，十几分钟就可以打扫干净一间房屋。

讨论：

1. 我们身边还有哪些事情可以交给机器人去做呢？
2. 机器人的广泛应用会使人类变得懒惰吗？

新视窗 · 知识外延

机器人三原则

为防止机器人伤害人类，科幻作家阿西莫夫1940年在《我的机器人》一书中提出了机器人设计时的三条原则：①机器人不得伤害人类；②机器人应服从人类的命令，与第一条违背的命令除外；③机器人应能保护自己，与第一、二条相抵触者除外。

什么是机器人？面对这个问题，多数人脑海里浮现的可能是影视作品中那些令人难忘的机器人角色，如铁臂阿童木、终结者、机械战警等。它们充满智慧，能力超群，能完成很多人类所不能从事的工作。事实上，这些机器上只是艺术家对现实生活中正在为人类服务的机器人的智慧和能力的艺术夸张，两者之间还有很远的距离。那么，现实中的机器人目前在人类社会活动中扮演着什么样的角色呢？

机器人为我们制造产品

现代工业品极大地丰富了人们的物质生活。当我们享用这些产品时，可曾想过其中不少产品都是出自于机器人之手吗？现在，工业机器人已经在汽车、摩托车、家用电器等行业的生产线中广泛使用（图1.1、图1.2）

机器人为我们提供服务

如何帮助人类摆脱繁重的劳动，并提供更好的服务？不知疲倦、体贴入微的机器人当然是理想的选择。现在，已经有多种类型的机器人活跃在服务的第一线，从事医疗、监护、家务、清洁、运输、救援等工作（图1.3、图1.4）。

机器人为我们探知未知世界

人类能生存的空间是有限的，而广袤的宇宙却是无限的，只有

微信公众号：电子课本大全

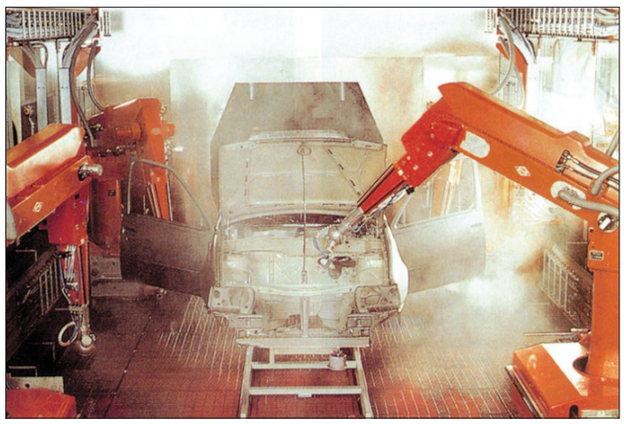


图 1.1　机器人在为汽车喷漆

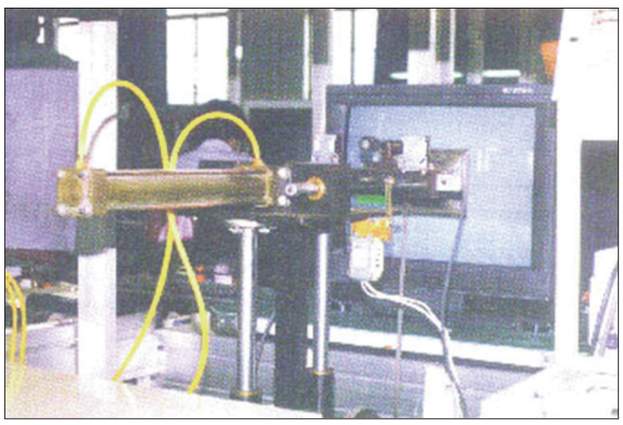


图 1.2　电视机生产线上的机器人



图 1.3　机器人辅助医生做外科手术



图 1.4　清洁机器人在擦洗玻璃

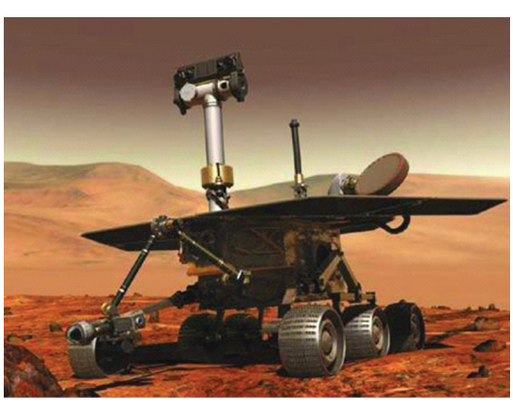


图 1.5　火星探测机器人

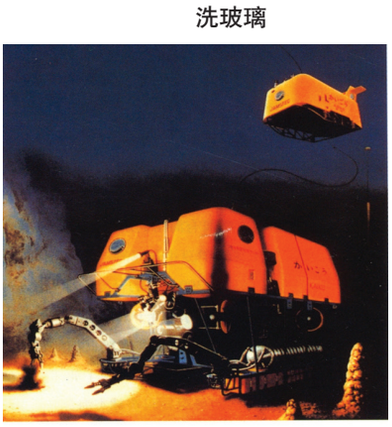


图 1.6　海底探险机器人

借助机器人才能把我们的探索能力延伸出去，拓展人类的活动空间。现在，机器人既能上九天揽月（图 1.5），又能下五洋捉鳖（图 1.6），甚至在炙热的火山口或者严寒的极地，都留下了它们的足迹。

以上只是列举了机器人的几种典型应用，形形色色的机器人还有很多。从这些例子可以看出，机器人是人类认识自然和改造自然的一种工具，它们并不一定需要具有人的外形和所有功能。我国科学家曾经对机器人下过这样的定义：机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力

微信公众号：电子课本大全

和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。

需要指出的是，迄今关于机器人的定义仍然是仁者见仁，智者见智。原因在于机器人的应用领域还在不断地拓展，其内涵和外延也随之深化和充实。显然，机器人定义的多样性非但无害，反倒为人们提供了想象和创造的空间。



探究尝试

与地球表面上应用的机器人相比，开发在外太空作业的空间机器人和在深海中潜游的水下机器人更具有挑战性。试从作业环境、通信、能源等方面探讨开发这两类机器人会遇到哪些技术难点，并提出你的解决办法。

类别	技术难点	解决办法
空间机器人		
水下机器人		

阅读材料

机器人的历史

人类对机器人的幻想和追求已有几千年的历史，如我国东汉时期的指南车和三国时期的木牛流马，欧洲 18 世纪的各种自动玩偶等。但真正意义上的机器人诞生于 20 世纪。表 1.1 是现代机器人发展的大事年表。

表 1.1　现代机器人发展大事年表

年代	主要事件
1920	捷克斯洛伐克作家恰彼克在科学幻想剧《万能机器人》中将机器人正式命名为 Robot，意为“奴隶机器”
1940	科幻作家阿西莫夫提出了著名的“机器人三原则”作为机器人设计的准则，以防止机器人伤害人类
1947	美国阿尔贡研究所开发了遥控机械手，用于原子能实验室中的操作
1954	美国人戴沃尔提出了工业机器人的概念，并申请了专利
1962	实用化工业机器人在美国问世
1980	工业机器人在日本开始广泛应用，被称为“机器人元年”
1997	IBM 的计算机“深蓝”以微弱优势战胜了国际象棋特级大师卡斯帕罗夫
2000	日本索尼公司推出“爱宝”机器狗，本田公司推出第一台商业化人形机器人“阿西莫”
2003	火星探测机器人“勇气号”和“机遇号”登上火星执行科学考察任务
2012	我国“蛟龙号”水下机器人在马里亚纳海沟创造了下潜 7 062 m 的世界同类作业型机器人最大下潜深度记录

微信公众号：电子课本大全

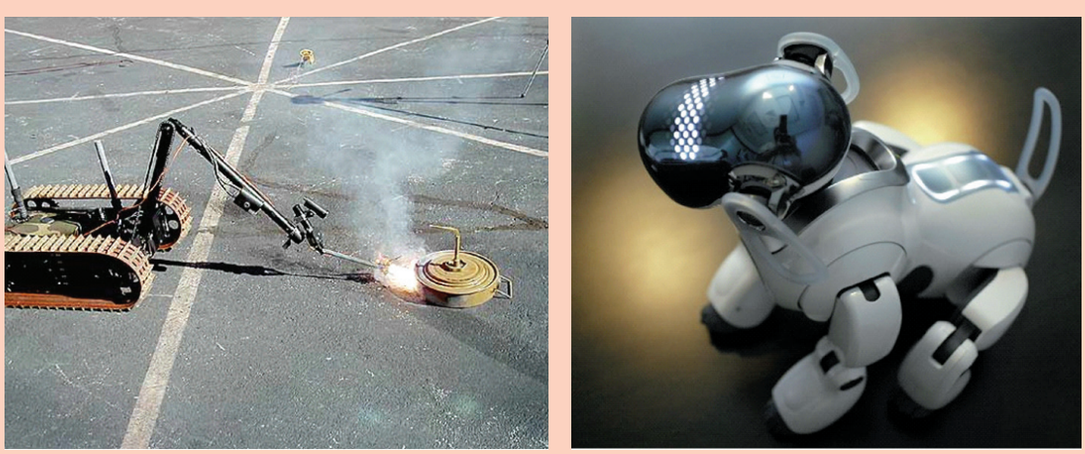
续表

年代	主要事件
2013	我国“嫦娥三号”探月机器人登陆月球，并创造了在月球工作时间全球最长记录
2016	我国香港的汉森机器人公司推出了人形机器人“索菲亚”，2017 年沙特阿拉伯授予她公民身份，她成为史上首个获得公民身份的机器人
2019	我国“嫦娥四号”成为世界上首次登陆月球背面开展科学考察任务的机器人
2050	科学家们希望推出一支能够战胜人类足球世界杯冠军的机器人足球队

小 资 料

机器人的分类

机器人如何分类，国际上并没有统一的标准，有的按负载重量分，有的按控制方式分，有的按应用领域分。我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。所谓工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人；而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括：服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人等（图 1.7）。经过几十年的发展，工业机器人可以说已经进入成熟期，20 世纪 80 年代开始广泛用于汽车行业，90 年代又在家用电器、电子行业中得到普及。进入 21 世纪后，特种机器人异军突起，它们将成为这个世纪机器人家族中的主力。



(a) 军用防爆机器人在处理爆炸物　　(b)“爱宝”机器狗玩具

图 1.7　特种机器人的应用

微信公众号：电子课本大全

第二节　机器人的结构特征与简易机器人平台



学习导航

1．机器人是由哪些部分组成的？
2．与实用机器人相比，简易机器人有何不同？
3．开展简易机器人制作活动有哪些途径？



自动售货机



现象与问题

在很多街头和宾馆门口，我们都能看见自动售货机的身影，它们不分昼夜地为大众提供便利。只要我们选择好某件商品，投入相应的钱币，它就能将我们需要的东西送出。

讨论：

1．根据自动售货机的工作过程，你能描述一下它的内部组成吗？

2．自动售货机是机器人吗？

一、机器人的结构特征

机器人由于功能不同，形态也各异。但各类机器人在组成上也存在共性，图 1.8 所示为一个典型机器人系统的结构组成。



图 1.8　机器人系统组成

微信公众号：电子课本大全

根据不同的功能，机器人系统可分为 5 个部分：

（1）机械结构：组成机器人的机械本体，如操作臂、末端执行器、行走机构等。

（2）驱动装置：驱动机器人关节运动的部件，如电机、汽缸、液压缸等。驱动装置及机械结构组成机器人的机械系统。

（3）传感器：感知机器人内部状态及外界信息的元器件，如关节旋转编码器、力传感器、摄像头等。

（4）控制器：负责接收传感器信息并指挥机器人运动的装置。

（5）动力源：为机器人各部分的正常工作提供能量的部件，如电源、气压源和液压源。

机器人是由上述几个部分构成的一个有机整体。由传感器采集到的信息输入控制器，后者对输入信号进行计算、判断和决策，然后将命令输出到驱动装置以便驱动机械结构。控制器中的控制程序是机器人控制的核心，它告诉机器人要做什么事情。通过编制不同的控制程序，机器人就可以执行不同的任务。



探究尝试

虽然大多数机器人在外形上与人类相差很大，但其结构组成与人还是具有可比性的，例如眼睛就是人体上属于传感器的器官之一。试根据机器人各组成部分的特征描述，在人体上分别找出与之功能近似的部位或器官。

机器人	机械结构	驱动装置	传感器	控制器	动力源
人体					

本课程中，我们所要学习和制作的对象是简易机器人，那么它们与正在各个领域中服务的实用机器人有什么不同呢？表 1.2 给出了一个简单的比较。

表 1.2　简易机器人与实用机器人的对比

项目	简易机器人	实用机器人
应用场合	玩具、教具、比赛	各类产业领域
机械结构	简单的拼装件、模块，以塑料、木料、铝材、纸板等材料为主，或改装电动玩具	满足额定载荷对刚度、强度、精度的要求，采用高强度、高刚度的轻质材料
控制器	单片机，简单任务编程，软件开发资源丰富、廉价	专用控制卡或计算机，软件开发环境复杂、昂贵
驱动装置	小功率直流电机、舵机	大功率电机，液压缸、汽缸等
外感器	简易、廉价	高性能、高精度、高价格
动力源	电池	电源、液压源、气源等
质量	数百克到数千克	数十千克
尺度	小	大

微信公众号：电子课本大全

与实用机器人相比，简易机器人“麻雀虽小，五脏俱全”，虽然它重量轻、体积小，在功能、结构等方面相对简单，但与实用机器人没有本质的差别。同学们，就让我们从简易机器人入手来学习有关机器人的知识吧，在掌握了简易机器人的基本设计、制作和控制知识后，制作更复杂的机器人就不再是遥不可及的事了。

二、简易机器人制作的理念及方法

为了开展简易机器人制作活动，需要一个开发平台。该平台大致分为两大部分：计算机平台和简易机器人教具平台（图 1.9）。通过不同途径搭建教具平台，就衍生出不同的简易机器人制作理念。

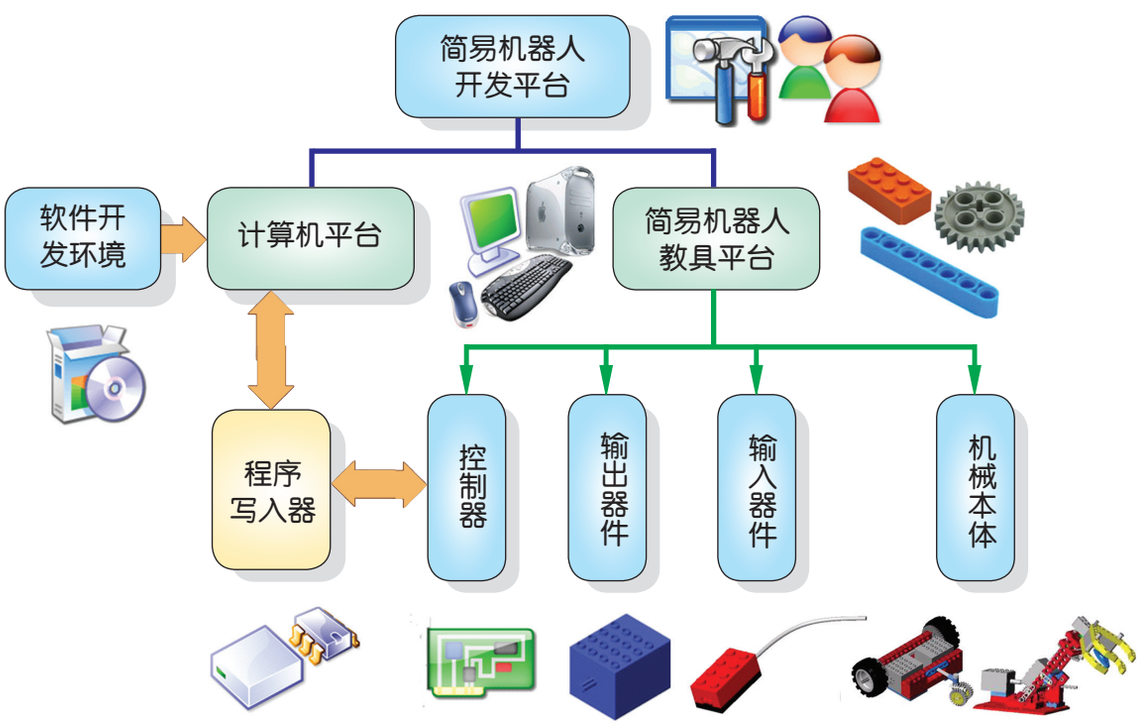


图 1.9　简易机器人开发平台

1. 零件拼装法

零件拼装实际上体现了积木化、集成化的思想，连控制器都可以较方便地与机体连接。其优点是机器人拼装零件种类多，开放性强，互换性高，同学们可以根据自己的创意灵活地搭建出各种机器人结构，因此它是发达国家在教具和智能玩具产品里广泛采用的方式。

本教材也将重点介绍用零件拼装方法制作简易机器人。

2. 部分零件自制法

简易机器人的一小部分零件要求同学们自己动手制作。自制零件的材料应该很容易得到，所需要的工具比较简单，符合同学的技能水平，花费的金钱和时间都比较合理。教材中的灭火风扇、可伸缩毛巾

微信公众号：电子课本大全

架、球架、旋转编码器码盘和一些简单小电路都是自制零件的例子，同学们一定会发现亲手制作这些零件非常有趣。

3. 玩具改装法

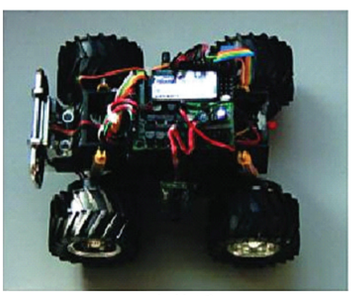
从市场上将玩具汽车、挖掘机等电动玩具购来，或者把自己家中的旧电动玩具找出来，去掉原有的电路板，代之以单片机控制电路板，再对机械部分稍加改装（也可以保留原来的电机和传动装置），并加装几个按钮和传感器，就能制作一个可编程的、单片机控制的简易机器人（图 1.10）。

4. 整机购买法

直接购入简易机器人生产厂家或智能玩具公司的整机产品，基本不改装或少量改装机械部分，主要借助产品配套的软件开发环境，进行编程学习。这种方法在系统的搭建上走了捷径，但同学们创意的空间比较有限。



改装前



改装后

图 1.10　玩具改装机器人小车



实践活动

用拼装法搭建简易机器人小车

移动是简易机器人最重要的功能之一，所以我们的制作就先从移动载体入手。同学们要精心完成这个小车，因为后面讲述的所有内容都离不开它。

从市场购买合适的简易机器人拼装套件，参考如下步骤搭建一个两轮驱动小车。

第一步：按图 1.11 所列的零件（左侧）和结构（右侧）组装小车底盘。

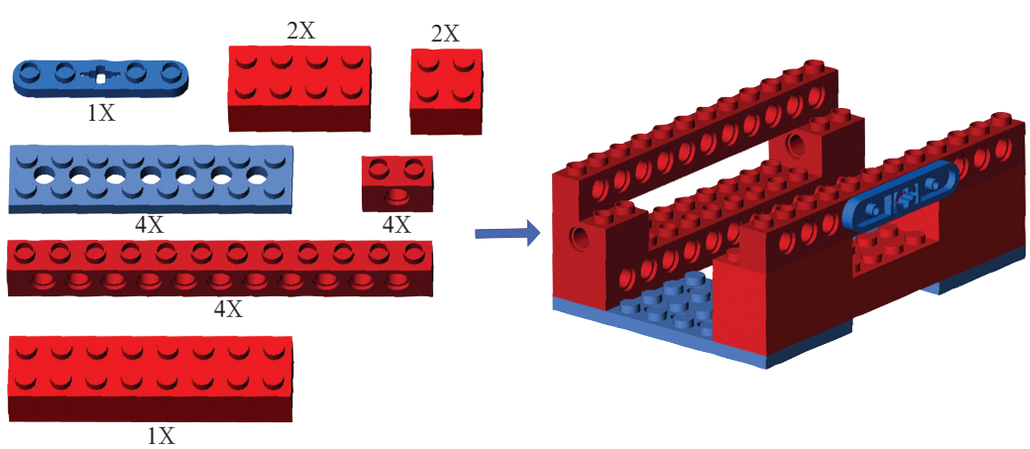


图 1.11　小车底盘组装

（图中 1X、2X、4X 代表组装过程需要 1 个、2 个、4 个零件，下同）

第二步：按图 1.12 所列的零件和结构组装出小车的驱动轮和辅助轮。

微信公众号：电子课本大全

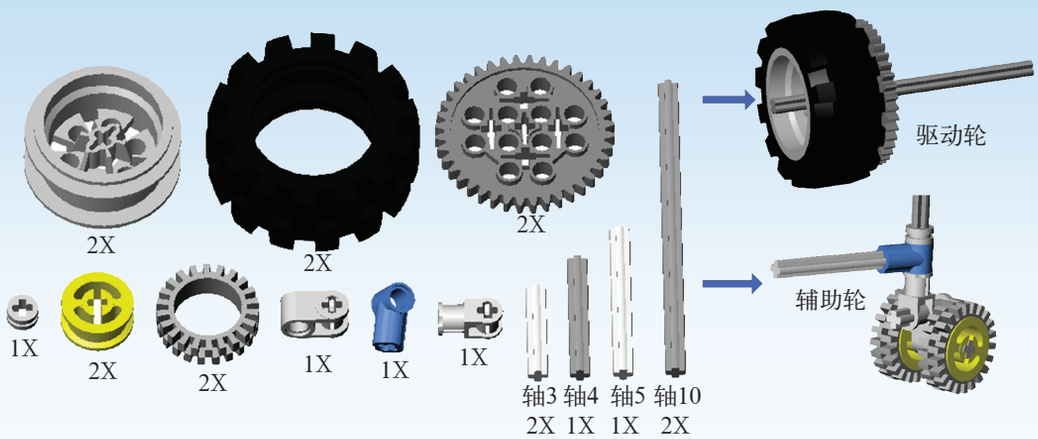


图 1.12　小车车轮组装

第三步：按图 1.13 所列的零件和结构，将电机、驱动轮、辅助轮安装到底盘上。然后调整驱动轮、辅助轮的间隙，用手轻轻转动。如果一切正常，车体组装即告完成。

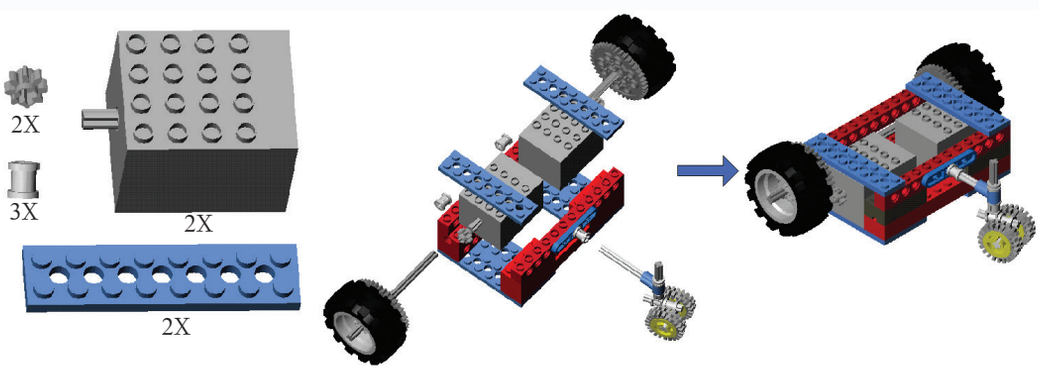


图 1.13　小车车体组装

第四步：找出图 1.14 所列的零件、传感器和控制器，并按照图 1.14 所示方法组装到车体上。

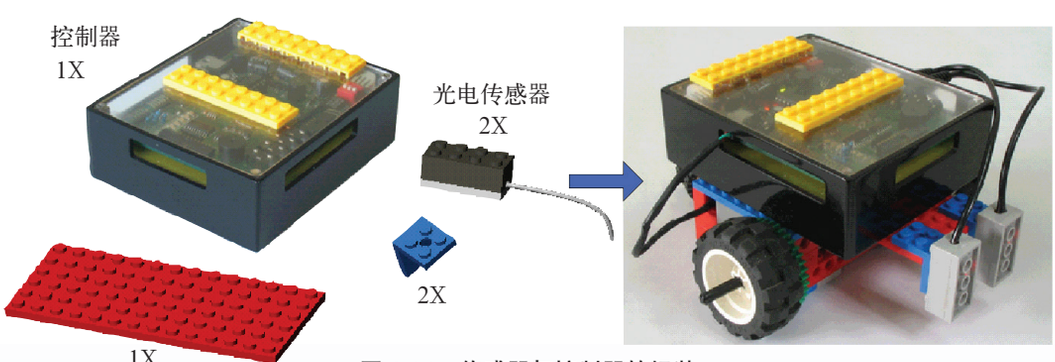


图 1.14　传感器与控制器的组装

第五步：按图 1.15 所示，将电机和传感器分别正确地插入控制器上的输入输出口。

微信公众号：电子课本大全

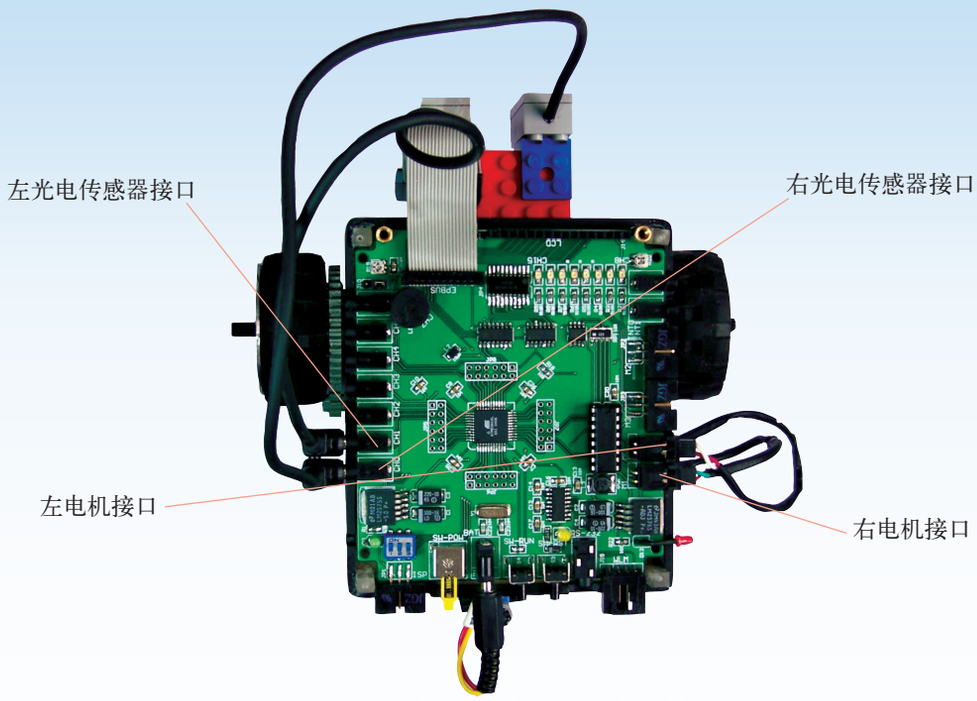


图 1.15　控制器与电机和传感器的连接

至此，一个完整的简易机器人小车就组装完成了。尽管我们还不理解它，但是不妨先调用一下演示程序，试试它有什么能耐。先在一张白纸上画一条宽度约 25 mm 的黑线（或用黑胶带粘贴），然后，将机器人放在黑线上，打开控制器的电源，观察机器人的运动。

注意：机器人启动后，两个驱动轮都应向前转动。如果发现某个驱动轮向后转动，说明它的驱动方向反了。简单的改正办法是将该驱动轮对应电机的电源插头从控制器拔下，转 180° 后再插入。



探究尝试

1. 上面搭建的机器人小车具有沿着地面黑线所标路径前行的功能。讨论这种功能可以应用到现实生产和生活中的什么地方。

2. 对于该机器人小车，有多种因素决定了最后驱动轮的转向。试分析这些因素，并找出除了转换驱动电机电源插头极性外，还有什么方法可以改变驱动轮的转向。

3. 在机器人小车旁边固定一支笔，观察它在地面上画出的曲线形状，该曲线是机器人跟踪黑线时的实际行进轨迹。你能否通过轨迹形状说明演示程序是如何根据两个传感器的信号（该传感器能识别地面黑线）控制左右车轮运转的？

微信公众号：电子课本大全

第三节　简易机器人设计

学习导航

1. 制作简易机器人需要哪些步骤？
2. 我们要制作什么机器人？



地震救灾现场

现象与问题

地震后如何及时救助被埋在瓦砾中的幸存者总是最紧迫、最艰巨的一项工作。随着机器人技术的发展，地震救援机器人将成为更多受灾群众的生命守护神。

讨论：

1. 地震救援机器人应具有哪些功能？
2. 机器人是如何在废墟中行走的？它靠什么探测是否有生命存在？

一、设计与制作的流程

在《技术与设计 1》中我们已经对工程设计的基本过程有了认识，机器人的设计也遵循这一过程。图 1.16 给出了简易机器人设计与制作的流程示意。



任务提出



分解功能

微信公众号：电子课本大全

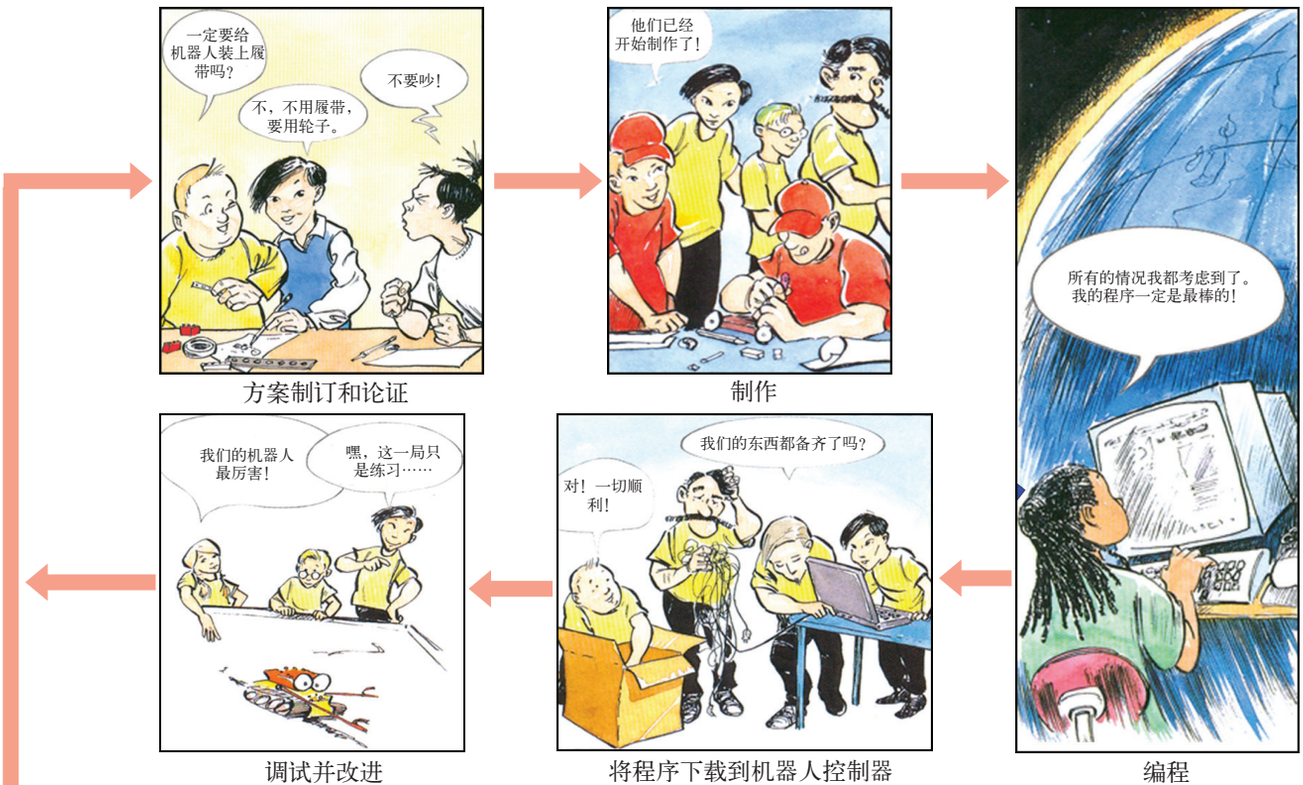


图 1.16　简易机器人设计与制作的流程

二、设计任务的提出

项目 1　高台灭火机器人

该项目模拟城市高层建筑发生火灾后实施灭火的机器人。

【任务】制作一台移动机器人，其上部带有可升降的灭火装置。机器人从场地中央出发自动寻找目标火源，途中须绕开障碍物并在目标前停下，然后升起灭火装置将火扑灭。

【场地与要求】

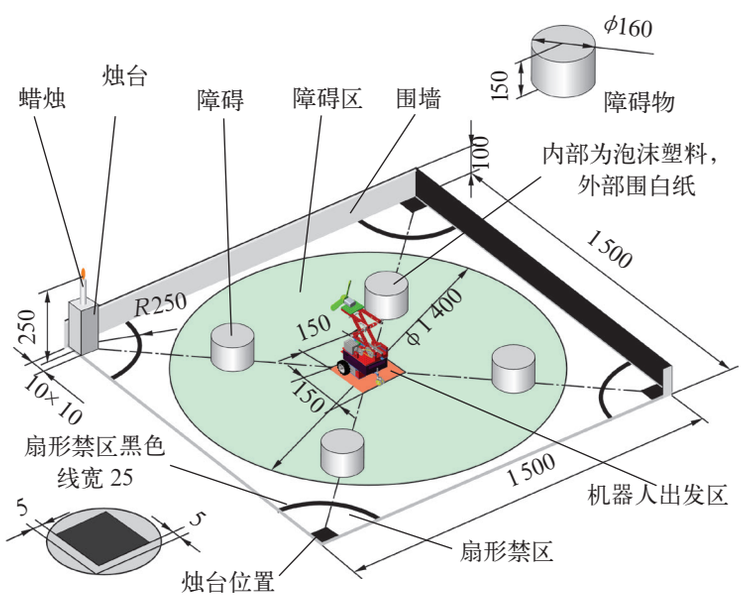


图 1.17　机器人高台灭火场地（单位：mm）

- 图 1.17 是机器人灭火作业的场地示意，总体尺寸为 1 500 mm × 1 500 mm。机器人的出发区在场地中心的橙色方框内，从场地的四个角落中任选一个摆放蜡烛（火源）。蜡烛火焰高度为 250 mm。场地的每个角落都设有一个黑线（宽 25 mm）标志的扇形禁区，机器人不得进入。四个障碍物应分别摆放在场地障碍区中的任意位置。
- 机器人的任务是在最短的时间里找到火源，将其扑灭。
- 该项目按照用时的长短来评估成绩，用时少者为优。

微信公众号：电子课本大全

【规则】

● 机器人一旦启动便不允许人为干预，即机器人必须由程序控制，而非人工控制。

● 机器人在扑灭火焰前必须已经停在禁区线上，然后启动风扇。不允许机器人的任何部位接触蜡烛，否则视为未完成任务。

● 机器人每次作业的时间以 1 min 为限，超时则被终止。每台机器人有 3 次运行机会，取最好的成绩计时。

项目 2　巡线运球机器人

该项目模拟在车间内沿某一路线自动搬运物品的机器人。

【任务】制作一台带抓持手的移动机器人，它能沿地面上的引导黑线来回运行，并用抓持手取下球架上的乒乓球，然后将球运回球库，以给定时间内搬运到球库内的乒乓球总数计算成绩。

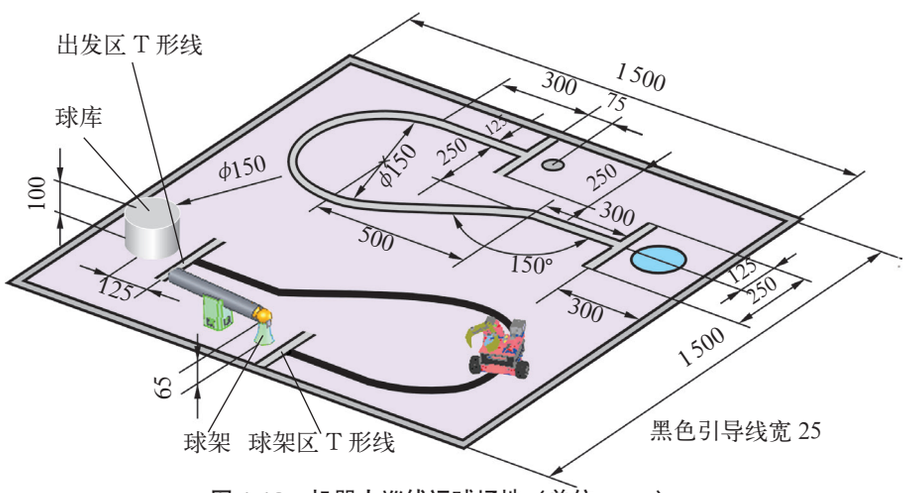


图 1.18　机器人巡线运球场地（单位：mm）

【场地与要求】

● 图 1.18 是机器人巡线运球场地的示意，场地尺寸为 1 500 mm × 1 500 mm。机器人引导黑线的宽度为 25 mm。

● 作业要求机器人在给定时间内沿黑线往复运动，搬运尽可能多的球。

【规则】

● 机器人一旦启动便不允许人为干预，即机器人必须由程序控制，而非人工控制。

● 机器人必须准确停在 T 形线处，不得碰撞球架和球库。

● 如果在作业中机器人偏离引导黑线，允许将它取回出发区重试，但计时不中断。作业时间为 3 min，按搬运乒乓球的个数评估成绩。

以上两个机器人制作项目有趣吗？同学们想完成它们吗？不用着急，在后续章节中我们将以这两个项目为主线，通过讲述简易机器人的方案制订、控制系统构建、程序编写，以及机械组装和调试，指导大家一步一步完成它们。



探究尝试

机器人在完成项目任务时，整个过程通常可以分解为多个独立动作的组合，如项目 2 中机器人的动作就包括巡线前进、在球架前停止、抓球等。试给出两个项目中机器人完成作业任务需要的动作序列，讨论一下执行这些动作可能需要哪些传感器。

微信公众号：电子课本大全

三、设计方案的制订

设计任务明确之后，需要对机器人应具备的功能进行分解，制订相应的设计方案。下面以项目 1 为例，尝试如何对高台灭火机器人进行功能分解，然后制订与论证方案。表 1.3 归纳了该机器人的功能、解决办法、设计细节及具体方案。

表 1.3　高台灭火机器人设计方案

功能	解决办法	应考虑的设计细节	具体方案
自动寻找火源	光敏传感器 热敏传感器	个数、配置、灵敏度	通过两个光敏传感器，比较电压大小决定前进方向
接近火源	移动载体	小车类型：轮式、履带或步行 载体移动速度 接近目标的策略	三轮小车，双前轮驱动，电机调速
自动避让障碍物	测障传感器	类型：超声、红外、接触式 配置方式 避让策略	两个红外传感器检测障碍方位，采取相应的避障策略
禁区识别	传感器定位	定位的准确度	借助光电巡线传感器识别禁区黑线
灭火装置对准火源	升降机构	驱动方式，升降高度控制	电机启停与方向控制，接触传感器限位
灭火	风扇，水枪	驱动方式，风力大小	自制风扇，直流电机驱动

在后面的章节中将对表 1.3 各栏目的解决方案做出详细的解说，论证方案的合理性和可行性。当然这仅是一种参考方案，同学们可以发挥各自的聪明才智设计出性能更佳的灭火机器人。



活动延伸

参照表 1.3，由同学们尝试制订出项目 2 的机器人设计方案。

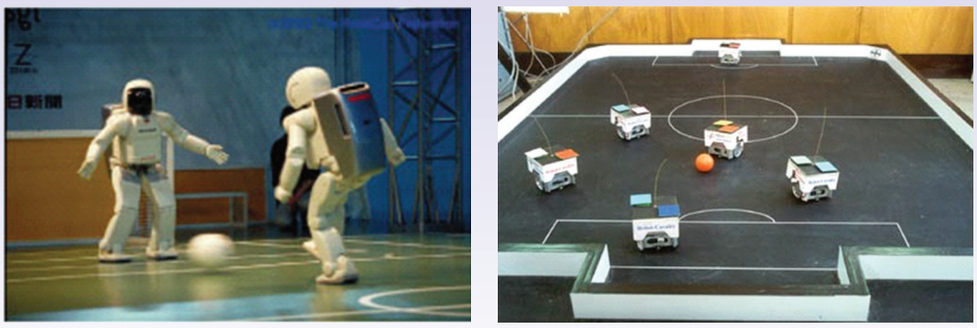
阅读材料

机器人赛事

机器人比赛入门难度不高，参与性与观赏性强，是一项非常适合科学普及和科技竞赛的主题。目前，各类机器人赛事名目繁多，范围遍及世界。影响较广的有以下几项：

1. 机器人足球世界杯：让机器人与人类足球队同场竞技是继国际象棋人机大战后科学家们设想的又一挑战，机器人足球世界杯正是这一设想的初级阶段。目前，国际上有关机器人足球的赛事主要有两个：日本主办的 RoboCup（Robot World Cup）和韩国主办的 MiroSot（Micro-Robot World Cup Soccer Tournament）（图 1.19）。

微信公众号：电子课本大全



(a)　　(b)

图 1.19　机器人足球赛

2. 机器鼠比赛：机器鼠比赛属于单机器人表演赛，早先是让机器鼠穿越迷宫，耗时最短者获胜，后来的比赛又增加了机器鼠巡线和机器鼠操作两个项目。它是最早的机器人赛事之一，并迅速在世界范围内普及（图 1.20）。

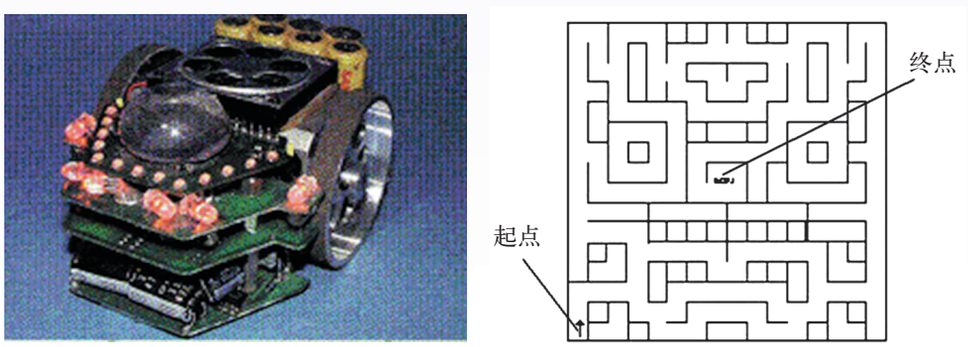


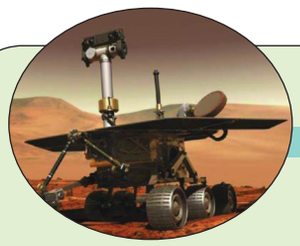
图 1.20　机器鼠及行进迷宫

3. 亚太大学生机器人大赛：由“亚洲太平洋地区广播电视联盟”倡导，旨在促进亚太地区大学生之间的科技创新和交流。比赛从 2002 年起每年在亚洲各国轮流举办，每届都有不同的主题。作为该项赛事的国内选拔赛，中国中央电视台自 2002 年起每年举办“全国大学生机器人电视大赛”（图 1.21），2013 年中国中央电视台正式退出该项比赛，2014 年共青团中央成为该项赛事主办方。



图 1.21　首届全国大学生机器人电视大赛现场

微信公众号：电子课本大全



本　章　小　结

机器人不再是人类的幻想，它已进入实际生活的方方面面，完成各种工作，是我们不可或缺的帮手和朋友。

然而，无论机器人有多大的本领，它仅仅是为人类服务的工具之一，是一种自动化的机器。根据不同的作业要求，机器人的结构形式也各异，但它们都包括了机械结构、驱动装置、传感器、控制器和动力源五个部分。机器人与一般机电设备的主要区别在于它的控制程序可以根据任务的不同而更改。

简易机器人是为教学和娱乐而开发的一种机器人，它们具有与实用机器人相同的结构组成，只是各部分相对简单，因而制作更容易、花费更少、操作更简便。简易机器人也遵从一般装置或系统的设计制作流程，首先需要根据任务和功能制订相应的设计方案，然后制作机器人本体、编写控制程序，接着开展作业测试，再由测试结果进行修改。

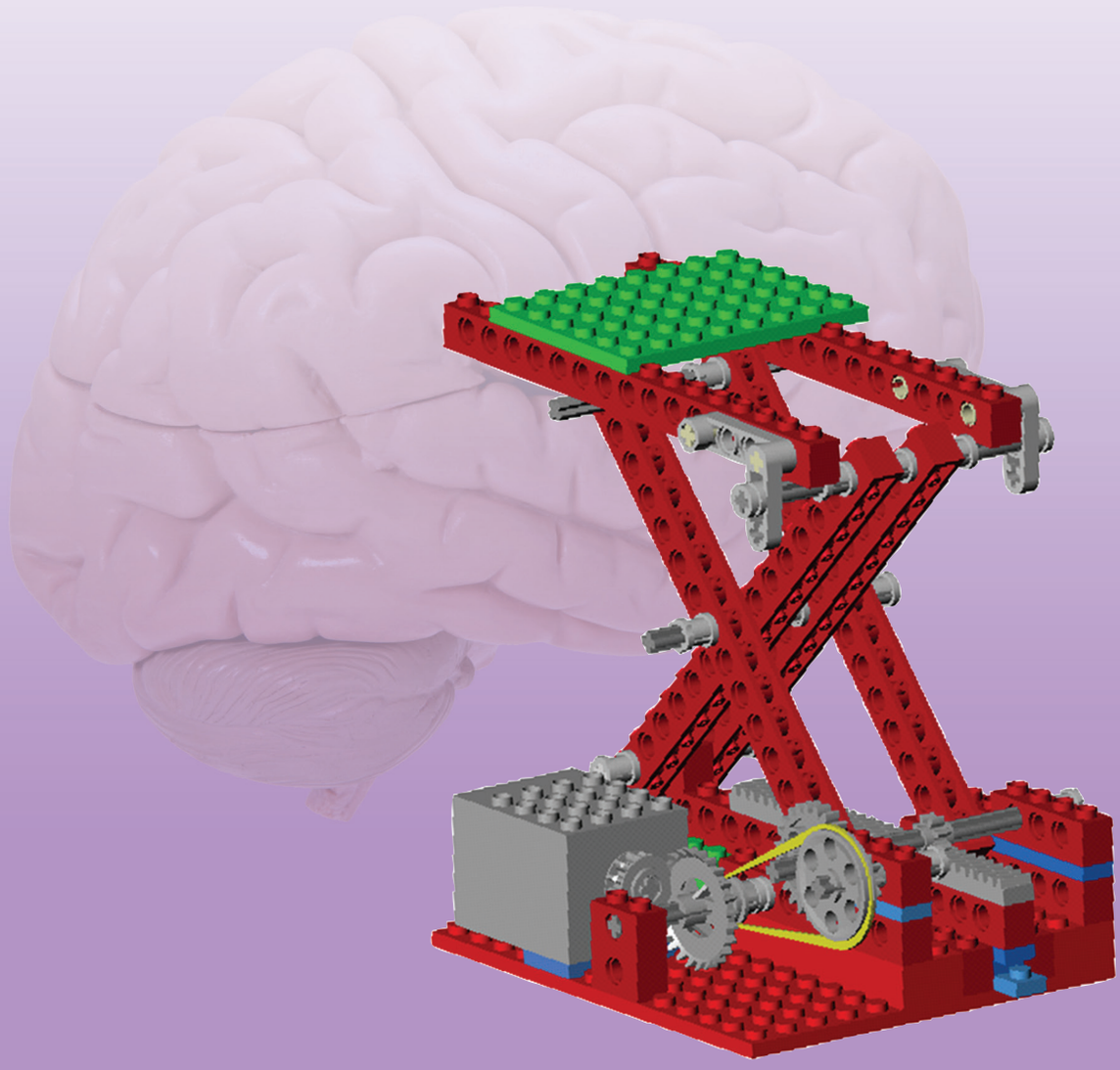
本章还提出了两个简易机器人制作项目，即“高台灭火机器人”和“巡线运球机器人”。通过本课程的学习，同学们将逐步完成这两个制作项目，最终制作出自己的机器人。

微信公众号：电子课本大全

第二章　简易机器人的大脑——单片机

人类的一切行为由大脑来支配，机器人也是如此。因此，想了解机器人，首先必须了解机器人的大脑。机器人的大脑就是它的控制器，计算机最适合这个角色。

在结构、功能、技术的复杂程度等方面互有区别的机器人，控制器也不相同。先进的、动作复杂的机器人，通常采用功能强大的PC机（个人计算机）或专用运动控制器；而对于简易机器人，使用结构小巧、价格低廉的单片机就完全可以了。下面就让我们从单片机入手，了解简易机器人的控制器吧。



微信公众号：电子课本大全

第一节　什么是单片机

学习导航

1．什么是单片机？它与简易机器人控制器有什么关系？
2．单片机有什么特点？
3．单片机主要应用在哪些方面？



拟人机器人

现象与问题

左图中是一个拟人机器人，这种机器人的外形和我们人类相似，不同之处是它的背后驮了一个“背包”。

讨论：

1．拟人机器人的“背包”最有可能的用途是什么？
2．有朝一日机器人能具有和人一样、甚至超过人的智能吗？

一、单片机的概念

机器人在功能上必须具有一个起控制作用的“大脑”，才能对自身工作状况和周围环境进行识别、判断及处理。机器人的大脑就是控制器，它应具备以下基本功能：

- 可编程——根据不同任务为机器人编写不同的控制程序；
- 分析和计算——为实现机器人运动控制，完成一定的逻辑分析和数字运算；
- 信号的输入输出——接收各种传感器的信息，发出命令，控制机器人运作。

从满足上述功能要求来看，PC 机或专用机器人控制器无疑具有较大的优势。那么简易机器人为什么要采用单片机控制呢？表 2.1 对 PC 机或专用机器人控制器与单片机进行了一个比较。

在一些应用场合，尤其是小型机器人或简易机器人中，像 PC 机这类通用的、功能完备的控制器不一定适宜，人们更希望采用体积小巧、价格低廉的单片机。单片机就是集计算机基本功能于一体的集成电路（IC）封装芯片，即大规模集成电路（LSI）。这种 IC 芯片叫作微型计算机，也常常被简称为微控制器（microcontroller）或单片机。它能搭载到机器人机体内部，构成所谓的嵌入式系统。事实上，

微信公众号：电子课本大全

表 2.1　PC 机或专用控制器与单片机的比较

比较项目	PC 机或专用控制器	单片机
应用场合	实用机器人	小型机器人、简易机器人（玩具、教具等）
运行速度	高速	适中
应用软件资源	丰富、程序复杂	从因特网可以下载丰富的软件开发环境
输入输出接口	齐备	适中
与机器人机体的连接形式	体积较大，分离式	体积小巧，嵌入式
价格	昂贵	廉价

单片机在功能上就相当于 PC 机的主板，单片机内部集成了微处理器（CPU）、存储器，以及各种 I/O 口等。

打个比方，使用专用控制器就好比去高级餐厅就餐，至多只需学会就餐的礼仪就可以在那儿一饱口福。而使用单片机好比自己做饭，这时，选定菜谱（控制器功能）、采购材料（单片机及辅助元器件）、掌握火候和调味（程序调试）等都需要自己亲自动手。使用单片机如同亲手做一样具有诸多优点。如果同学们在简易机器人制作中能充分把握这些优点，以积极的态度投入实践，就能获得丰厚的回报。

图 2.1 是几种常用单片机的外观。单片机再加上简单的外围电路，就可构成一个简易机器人控制器。图 2.2、图 2.3 列举了两种基于单片机的控制器，事实上它们都是以 AVR 系列单片机为核心的控制电路板。本书将围绕图 2.2 所示的 RoCon 控制器进行介绍。其主要配置如下：

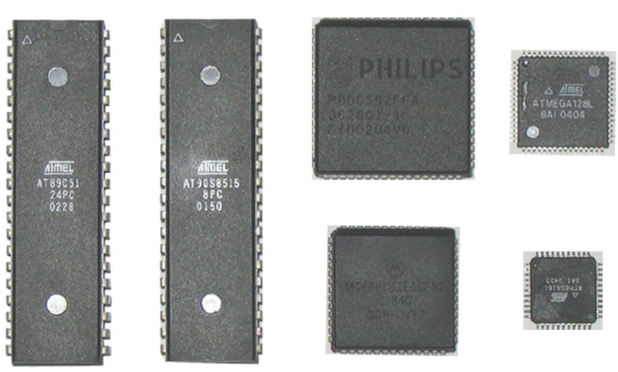


图 2.1　几种常用单片机

（1）单片机采用 AVR 系列中的 ATmega16。

（2）7 路传感器接口，编号为通道 0 到通道 6，它们既可接入开关量传感器，又可接入模拟量传感器。特殊情况下，这些接口也可作为数字量输出接口。

（3）1 个启动按钮和 1 个停止按钮，分别用于启、停机器人控制程序。

（4）8 个发光二极管（LED）显示，编号为通道 8 到通道 15。

（5）1 个蜂鸣器，编号为通道 7。

（6）4 路电机接口，编号为电机 0 到电机 3，其中电机 0 和电机 1 控制两个调速电机，电机 2 和电机 3 控制两个恒转速电机。

新视窗 · 知识外延

单片机的主频

我们都听说过 PC 机的主频这个名词，它代表了计算机运行的速度。单片机也有“主频”，即时钟，它的快慢代表了单片机中微处理器执行程序的速度，是一个很重要的性能指标。单片机以此为基准，形成一系列的时序逻辑来控制程序的运行。RoCon 中 ATmega16 单片机的主频为 11.059 2 MHz。

微信公众号：电子课本大全

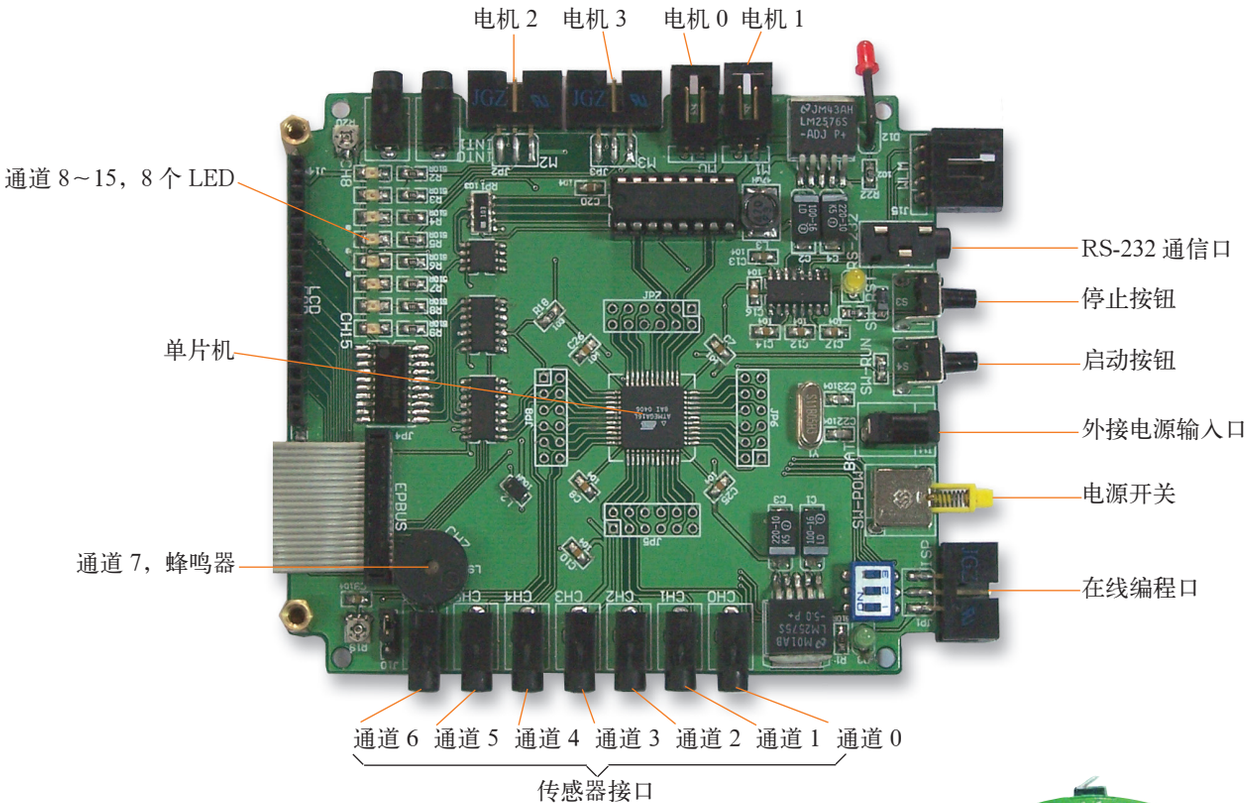


图 2.2　RoCon 控制器

（7）1 个 RS-232 通信口和 1 个在线编程口。

（8）1 个电源开关和 1 个外接电源输入口。

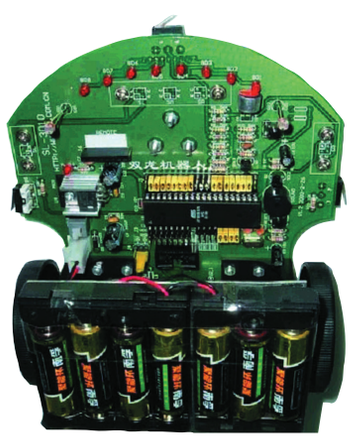


图 2.3　一种简易机器人控制器

二、单片机的特点

单片机有如下主要特点：

（1）集成高度，体积小：单片机内部除了有一个微处理器外，还包含若干功能单元模块，如存储器、I／O 口等，相当于把 PC 机主板的功能集成在一块芯片上。

（2）可靠性高：由于未使用分立元件，故提高了电路的稳定性、可靠性和抗干扰能力。

（3）接口丰富：单片机有比较丰富的接口，能直接输入输出数字量，大部分单片机也能直接输入模拟量，一般还带有串行口和并行总线接口。

（4）低功耗，低电压：单片机的功耗一般较低，供电电压为 3 ～ 5 V，无需外加散热装置，因此在便携式产品上应用广泛。

（5）价格低廉：每片单片机的价格一般在几元到几十元。

（6）易于开发：单片机种类丰富，开发工具完善，易于掌握和开发。

（7）相对于 PC 机的微处理器，单片机的地址总线和数据总线位数较少，运行速度较慢，存储空间有限，无法运行大型软件。

（8）单片机一般不支持浮点运算，因此不适合应用在有大量数值计算的场合。

微信公众号：电子课本大全



小 资 料

模拟信号、数字信号

- 模拟信号：是一种连续变化的可检测数据量。
- 数字信号：一般指离散的、可用二进制数“0”“1”表示的数据信号，又称为开关信号或开关量。
- 模数转换器（ADC）：是一种把模拟信号转换成数字信号的集成电路。
- 数模转换器（DAC）：是一种把数字信号转换成模拟信号的集成电路。



探究尝试

单片机的应用

因为单片机有众多的优点，所以它的发展非常迅猛，单片机的应用非常广泛，例如，典型的汽车电子系统中有30多个单片机，有的高级汽车中嵌入了多达63个单片机。可以说，单片机已经深入到人类生活的每一个角落，是无处不在的小精灵。

1. 同学们可以从自己的家中、学校、工厂、医院、商店等地方，寻找一些应用单片机的产品，并完成下面的表格。

应用单片机的领域	实例
家用电器	电冰箱、_____、_____、_____。
办公设备	电话机、_____、_____、_____。
商业设备	自动售货机、_____、_____、_____。
电信设备	手机、_____、_____、_____。
仪器仪表	智能温度计、_____、_____。
工业控制	可编程控制器、_____、_____。
农业领域	恒温蔬菜大棚、_____、_____。

2. 选择一种你比较熟悉的采用单片机控制的产品，分析它的单片机控制器有哪些输入信号（传感器或开关）、哪些输出信号（驱动装置），讨论该产品为什么要采用单片机。



活动延伸

查找某种家用电器的控制电路资料，看看它是否采用了单片机控制。如果有单片机，它是什么型号的？

微信公众号：电子课本大全

第二节　单片机的基本原理

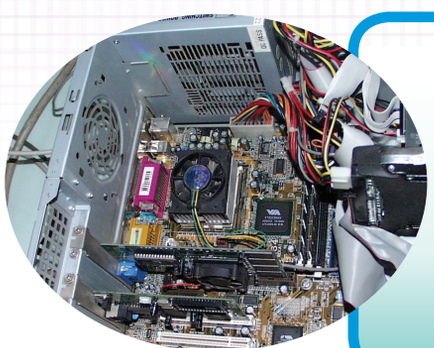


学习导航

1．单片机一般由哪几部分组成？
2．单片机的引脚功能是什么？
3．单片机是怎样工作的？



现象与问题



打开一台 PC 机的机箱，可以看到主板上密密麻麻的电子元件，仔细观察主板的各个部分。

讨论：

1．PC 机主板上 CPU 是什么型号？它的外形有什么特点？
2．PC 机主板上存储器在什么位置？
3．PC 机主板上鼠标、键盘、显示器接口在什么位置？

单片机的种类繁多，目前使用比较广泛的有 MCS51 系列、AVR（AT90）系列、PIC 系列、MC68HC 系列等。它们内部的结构都大同小异，因此熟悉了某一种单片机的基本结构，其他类型的产品可以举一反三，触类旁通。

一、单片机的基本结构及工作原理

单片机的基本结构

单片机通常由 CPU、存储器、I/O 口三大部分组成，它们通过内部总线连接起来，基本结构如图 2.4 所示。

1.CPU

CPU是“中央处理单元”的英文缩写，也就是我们通常所说的微处理器，它包括运算器和逻辑控制器两部分。

运算器由 3 部分组成，以算术逻辑单元（ALU）为核心，另外还有通用寄存器、状态寄存器两个辅助部分。运算器除了像算盘那样能对数据进行加、减、乘、除等算术运算外，还能进行“与”“或”“非”等逻辑运算以及位运算。状态寄存器负责测试和记录运算的状态，而通用寄存器则存放运算的数据。

单片机属于程序控制式计算机。CPU中逻辑控制器的作用体现在理解程序意图、协调各个部件完成程序规定的任务等。逻辑控制器由

微信公众号：电子课本大全

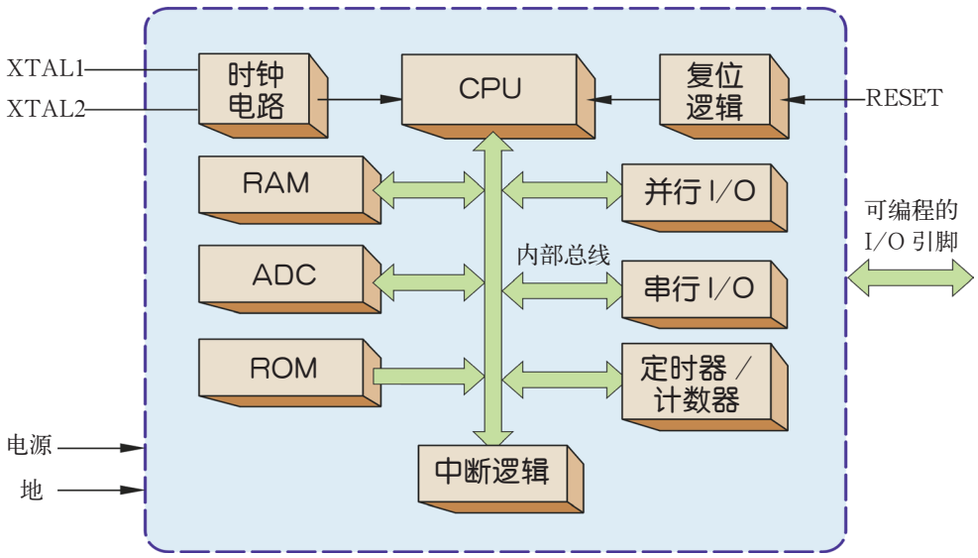


图 2.4　单片机的基本结构



小 资 料

Flash 存储器

目前颇受青睐的 USB 盘、数码相机以及大多数单片机的内部程序存储器几乎都用 Flash 存储器。你知道它的特点以及与 EPROM、EEPROM 的区别吗？

与 EPROM 比较，Flash 存储器（以及其他非易失性存储器）在电可擦除和可重复编程方面具有明显的优点。目前这些操作已经无需特殊的高电压，而且由于采用块擦除的方式，擦除速度快。此外，与 EEPROM 比较，Flash 存储器具有成本低、密度大、擦写速度快的特点。

程序计数器（program counter，PC）、指令寄存器、指令译码器构成。程序计数器指示当前执行指令的地址，该指令执行完毕后，程序计数器里的内容自动加 1，这就是程序得以连续执行的原因。指令寄存器用来暂时存放将要执行的指令。指令译码器则把指令翻译成操作信号，以便让单片机的各个部分按指令协调操作。

2. 存储器

存储器用来保存单片机要处理的信息。单片机型号不同，存储器的容量也有差异。

根据存储的内容，存储器可分为程序存储器和数据存储器。而根据存储机理，又可分为只读存储器（ROM）、随机存储器（RAM）、可擦除可编程只读存储器（EPROM）、电可擦除可编程存储器（EEPROM）和闪速存储器（Flash Memory）等。

RAM 是一种易失性存储器，供电电源关闭后内部的数据将会丢失，不过其特点是读写速度快，存储量大。无需任何外部设备，CPU 便可随时读写 RAM 内的数据，它一般作为数据存储器使用。

ROM 内的数据由制造商在制作芯片时固化进去，它不会丢失，也不允许用户更改。ROM 一般作为程序存储器使用。

EPROM 和 ROM 相似，固化在里面的内容不会丢失，不过允许

微信公众号：电子课本大全

用紫外线在短时间内将内容擦除，因此用户可以对这种存储器多次写入。EPROM 一般作为单片机外部程序存储器使用。

EEPROM 的功能与 EPROM 相同，但微处理器可以直接使用电信号擦除存储器内的内容而无需紫外线，因此，这种存储器既可用作程序存储器，又可用作数据存储器。

闪速存储器的功能与 EEPROM 相同，但其特点是存储的内容可快速重复地擦除和写入。这种存储器一般集成在单片机内部，作为程序存储器使用。

3.I/O 口

I/O 口是单片机与外部被控器件连接的桥梁，所以是单片机必须具备的组成部分。通常，I/O 口包括下面几种形式：

（1）并行 I/O 口：它是由若干条输入输出线组成的并行数据位。单片机的并行 I/O 口一般为 8 位，也称字节（byte）端口或并行端口。并行端口进行数据传输时各位数据同时发送，其优点是传输速度快，缺点是需要多条数据线。PC 机上的打印机接口就是并行 I/O 口。

（2）串行 I/O 口：一般有两根数据通信线，一根做发送数据线，另一根做接收数据线。在串行数据通信中，数据是一位一位顺序传送的，其突出优点是只需一对传送线，这样就降低了传送成本；缺点是传送速度慢，因为这种方式连续传送 8 次才相当于并行端口传输一次。我们平时所用的鼠标就是使用这种方式与 PC 机通信的。

（3）特殊 I/O 口：如模拟信号到数字信号的转换接口（ADC）、定时器 / 计算器模块、中断逻辑模块等。

单片机除了上述 3 个主要部分外，还有一些用于控制和监测的电路。例如，时钟电路决定了单片机执行指令的节奏快慢，定时器 / 计数器则使单片机能及时或按一定顺序执行指令，另外，还有所谓“中断逻辑”，它好比一个传达室，当控制对象的参数到达某个需要加以干预的状态时，经此传达室通报给 CPU，使 CPU 根据事态的轻重缓急采取适当的对应措施。



探究尝试

普通 PC 机中也有存储器，也分为 ROM（或 Flash 存储器）和 RAM（即通常所说的内存）。另一方面，在 PC 机上运行的程序可分为 3 类，其中操作系统（如 DOS、Windows 等）和应用程序大家都比较熟悉了，另一类是基本输入输出系统（即 BIOS），它是与 PC 机的各种硬件直接打交道的程序（一般 PC 机刚启动时按 Delete 键可进入 BIOS 设置）。请根据你对存储器和程序的认识，探讨各类程序运行时程序存放在 PC 机的哪种存储器中。



小 资 料

中断、定时器 / 计数器

- 中断（Interrupt）指在程序运行过程中，若遇到突发事件，微处理器或单片机立即中止程序的正常运行，转而处理突发事件的操作。中断是单片机一种必需的功能。
- 定时器 / 计数器（Timer/Counter）为单片机提供精确的计时（微秒级），该模块也可用作计数器，记录外部信号的脉冲个数。

单片机的工作原理

现在我们对单片机的各组成部分已有了初步的认识，那么它们是如何相互联系成为一个有机整体的？又是如何工作的呢？实际上，单片机内部有一条将它们连接起来的纽带，即所谓的“内部总线”。此

微信公众号：电子课本大全

总线有如城市的“主干道”，它将 CPU、ROM、RAM、I/O 口、中断逻辑等“分站点”串接起来，“分站点”之间的所有货物（指令和数据）传输都经过这要“主干道”进行。当然，指令和数据在内部总线中的传送并不是混乱无序的，它们是由 CPU 中的逻辑控制器负责协调指挥的，从而使整个单片机有条不紊地工作。

单片机的内部工作过程是相当复杂的，涉及的知识也很丰富。为了便于理解，我们仅通过展示 163×156 这个简单算式在单片机中的执行流程，让同学们初步了解它的工作原理。163×156 这个乘法在单片机程序中对应 3 条指令，如图 2.5 所示，指令被存放在程序存储器的 3 个连续地址中。首先，程序计数器（PC）指向的是指令“LDS R0,163”，于是单片机将该指令送入指令寄存器中，然后指令译码器翻译这条指令，并执行把操作数 163 送到数据寄存器 R0 中的操作（R0 位于单片机内部 RAM 中）；这条指令执行完后，PC 自动加 1，指向下一条指令“LDS R1,156”，它的执行过程与前一条指令相同，不过结果是把操作数 156 送到数据寄存器 R1 中（R1 也位于内部 RAM 中）；然后 PC 再自动加 1，指向乘法指令“MUL R0,R1”，经指令译码器翻译，这条指令将把 R0 和 R1 中的内容从内部 RAM 中取出，然后送到运算器中执行乘法运算，再把结果 25 428 送回 R0 和 R1 中。至此，单片机就完成了整个乘法算式的操作。同学们是否觉得这个过程太烦琐、太慢了呢？其实，单片机正是靠这种单调重复但协调有序的操作才能保证整个工作的正确无误，况且单片机每秒能执行上百万条指令，这几条指令对它而言用“瞬间”一词都嫌太长了。

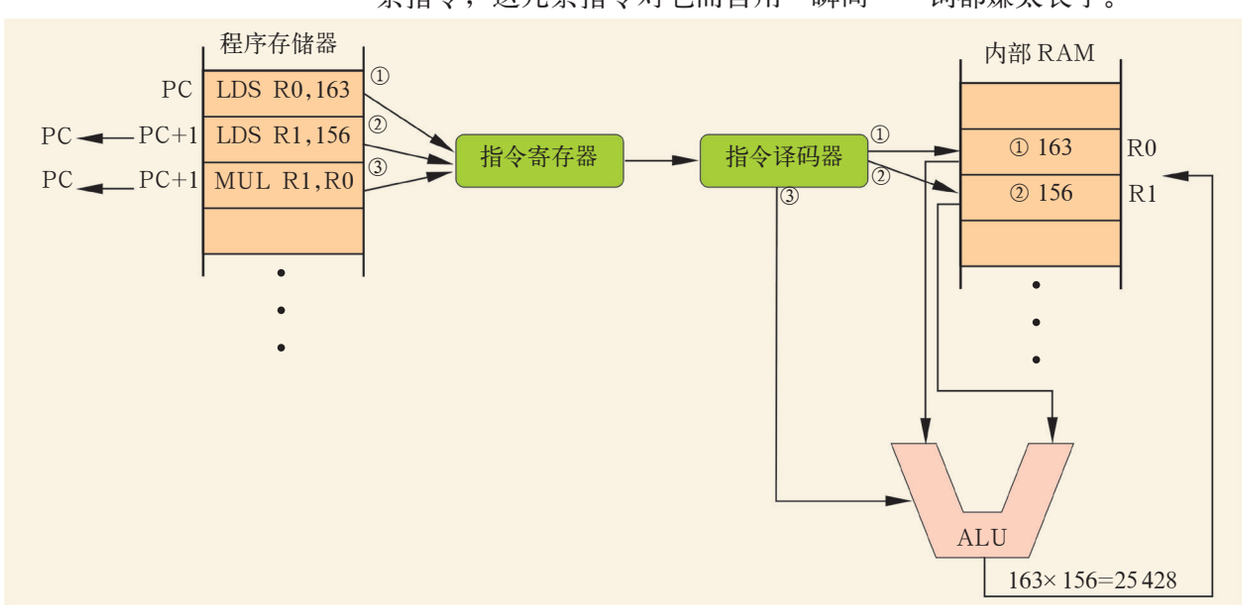


图 2.5　单片机的工作过程示意

二、单片机的引脚

引脚是单片机内部电路的延伸，单片机内的各个功能模块必须向外部开放，否则它们就无法实现对外部电路或设备的控制，所以，使

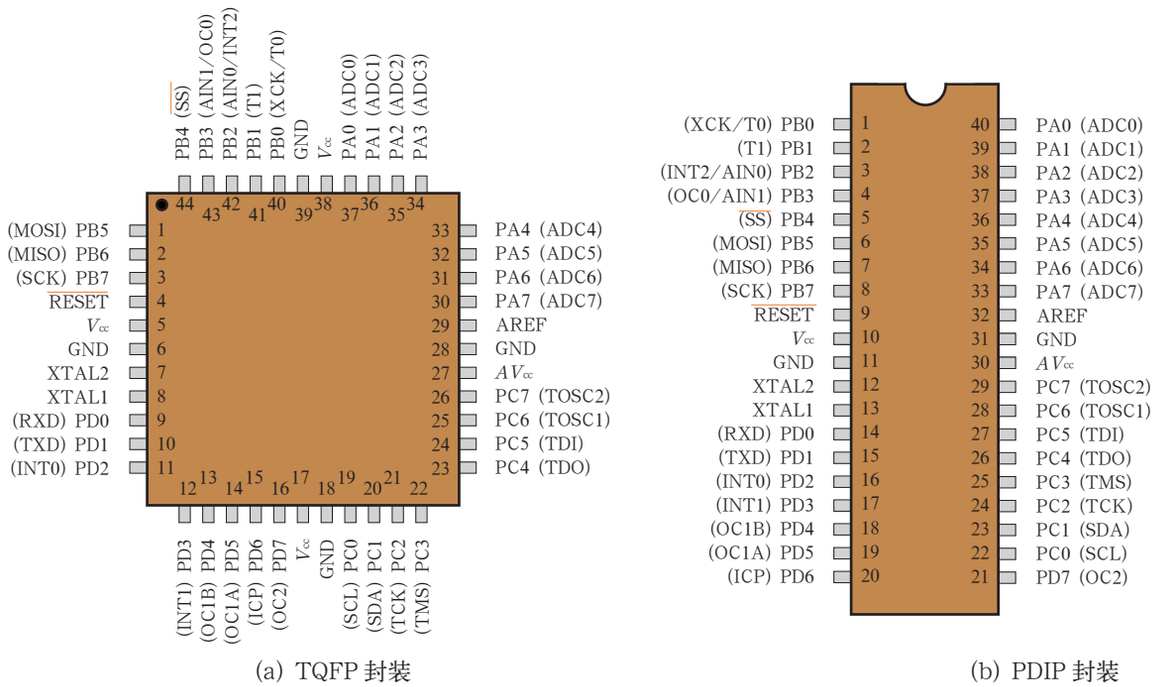
微信公众号：电子课本大全

用单片机前必须了解单片机的引脚功能。

单片机的类型和封装形式很多，引脚情况各不相同，无法一一描述，本节以 AVR 单片机 ATmega16 为例，具体说明单片机的各个功能模块及引脚使用方法。

单片机 ATmega16 由以下部分组成：16K 字节的 Flash 程序存储器、512 字节的 EEPROM、1K 字节的 RAM、32 个通用 I/O 口、3 个定时器 / 计数器、20 个中断、1 个串行口、8 个 10 位的 ADC，4 路脉宽调制（PWM）输出等。

ATmega16 有两种封装形式：40 条引脚的塑料双列直插封装（PDIP）和 44 条引脚的扁平方形封装（TQFP）。这些引脚包括 A、B、C、D 4 组通用 I/O 端口，若干电源引脚和控制引脚（图 2.6）。



(a) TQFP 封装　　(b) PDIP 封装

图 2.6　ATmega16 的引脚

ATmega16 的引脚具体定义如下：

（1）端口 A(PQ0 ~ PA7)：该端口的 8 条引脚一般充当外部模拟信号的输入脚，也可作为双向数字 I／O 口。当作为数字 I／O 口使用时，单片机内部能为每个引脚提供内部可控制的上拉电阻，向每个引脚提供 20 mA 的驱动电流（5 V 电源），一般能直接驱动 LED。

（2）端口 B(PB0 ~ PB7)：该端口的 8 条引脚一般作为双向数字 I/O 口使用（带内部可控制的上拉电阻），能提供 20 mA 的驱动电流。另外，这个端口还有别的用途，如 PB0 和 PB1 引脚可定义为计数器 0 和计数器 1 的外部信号输入脚；PB2 和 PB3 可定义为一个比较器的两个比较输入引脚，PB2 还可以定义为外部中断 2 的输入引脚，PB3 可以作为一路 PWM 的输出引脚；PB4 ~ PB7 可定义为串行外设接口（SPI）的 4 个引脚。

（3）端口 C(PC0 ~ PC7)：它也是一个 8 位双向数字 I/O 口（带

微信公众号：电子课本大全

内部可控制的上拉电阻）。能提供 20 mA 的驱动电流。该端口也有另外的功能，即作为在线编程（ISP）端口，用来下载单片机程序。

（4）端口 D(PD0 ~ PD7)：该端口可作为 8 位双向数字 I/O 口，其功能与端口 A、B、C 相同。它也有第 2 种功能，如 PD0 和 PD1 可作为异步串行通信口引脚，PD2 和 PD3 作为外部中断输入引脚，PD4 ~ PD7 作为单片机定时器 / 计数器的信号输入引脚（PD4、PD6、PD7 还可以编程为 PWM 的输出引脚）。

（5）V_{cc}：电源正电压输入引脚。

（6）GND：电源接地引脚。

（7）RESET：单片机复位引脚。如果在这个引脚上出现一个持续时间超过 125 ns 的低电平，则单片机复位，程序重新开始执行。

（8）XTAL1：内部振荡放大器的输入端。

（9）XTAL2：内部振荡放大器的输出端。

（10）AV_{cc}：模数转换器的电源。

（11）AGND：模数转换器的参考电源地输入。

（12）AREF：模数转换器的参考电源输入。

小 资 料

I/O 口内的上拉电阻

ATmega 单片机的 I/O 引脚内部都带有可控制的上拉电阻，其作用是为了适应各种输入输出信号的要求。I/O 口用于信号输入时，可编程为内部带上拉电阻或不带上拉电阻的形式；而 I/O 口用于信号输出时，上拉电阻无效，单片机引脚可以输出较大电流。单片机内部采用了 3 个开关管实现上述功能。开关管是一种特殊的三极管。图 2.7 所示是三极管的两种类型。对 NPN 型三极管，基极 b 为高电平时，集电极 c 和发射极 e 导通，电流由 c 流向 e；当 b 点为低电平，三极管截止，c 和 e 点断开。而 PNP 型的导通和截止方式正好与 NPN 型相反。因此，三极管可以用作一个由基极 b 控制的电子开关。图 2.8 是单片机 I/O 引脚内部简单原理示意。图中，R 是上拉电阻；S 是输出控制开关。当 D 端为高电平，开关打开；当 D 端为低电平，开关关闭。A 点为上拉电阻控制端，B、C 为输出电平控制端。

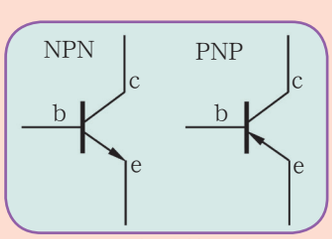


图 2.7　三极管的两种类型

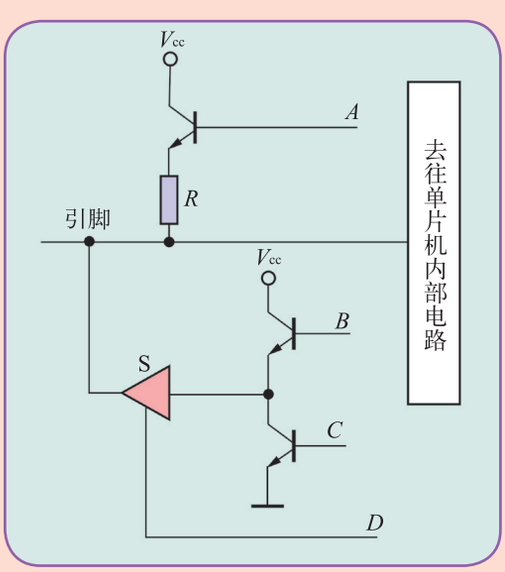


图 2.8　单片机 I/O 引脚内部原理示意

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

请同学们利用简单的电路知识分析图 2.8 所示的电路，并填写下面表格中空白的部分（X 代表任意状态，1 代表高电平，0 代表低电平）。你能否总结一下上拉电阻的作用？

A 点电平	*B* 点电平	*C* 点电平	*D* 点电平	输入	输出	内部上拉电阻
1	X	0	0	是	否	有效
0	X	0	0	是	否	
0	0	1	1	否		无效
0		0	1	否	1	



实践活动

在电源关闭的情况下，打开 RoCon 控制器的上盖，完成如下工作：

(1) 查找控制电路板上面的单片机，并辨认单片机的第 1 个引脚位置。

(2) 找出哪些是电源引脚，哪个脚是复位引脚。

(3) 准备一块多用电表，利用它的欧姆挡确认引脚与控制电路板上传感器接口的对应关系（图 2.9）。

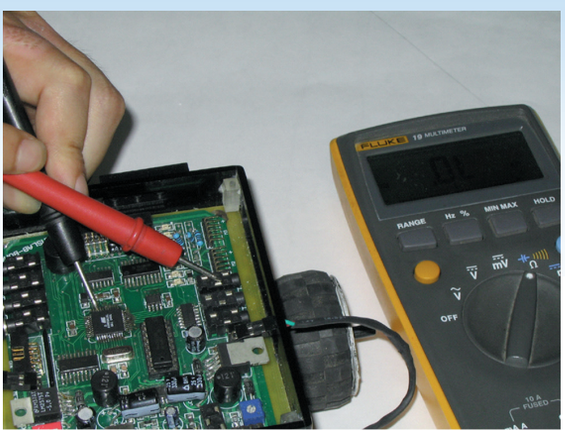
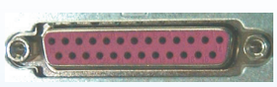


图 2.9　测量单片机引脚与传感器接口的对应关系



活动延伸

1. 认识计算机的并口与串口。观察计算机机箱后面的外设接口，按图 2.10 所示找出其中的并口（并行 I/O 口）和串口（串行 I/O 口）。再找一本介绍计算机原理的书籍，对照有关并口和串口的知识，弄清楚计算机并口与串口上各引脚的功能。



(a) 计算机并口



(b) 计算机串口

图 2.10　计算机上的并口与串口

微信公众号：电子课本大全

2. 了解三极管及上拉电阻的作用。在数字电路中，三极管一般作为电子开关使用。为了更好地理解三极管和上拉电阻的作用，我们做如下实验。

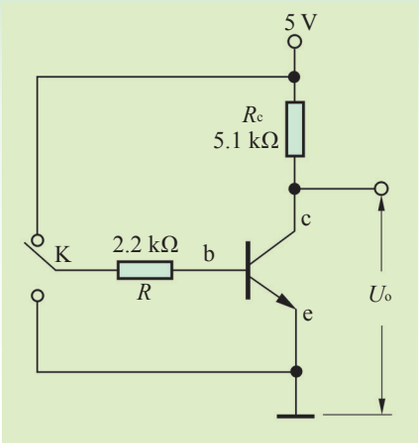


图 2.11　三极管与上拉电阻实验电路

准备型号为 9013 的三极管一只，开关一个，5.1 kΩ、2.2 kΩ 电阻各一只，5 V 电源一个，多用电表一块。在实验电路板上按图 2.11 搭接电路，在下列空格处填入实验结果。

(1) 将开关 K 接地，用万用表测量三极管集电极和发射极之间的电压 U_o = _____V，应该属于 _____ 电平（填“高”“低”电平）。

(2) 将开关 K 接 5 V，用万用表测量三极管集电极和发射极之间的电压 U_o = _____V，应该属于 _____ 电平（填“高”“低”电平）。

如果去掉 R_c（此电路中的上拉电阻），重复 (1)、(2) 中的实验，有什么现象发生？

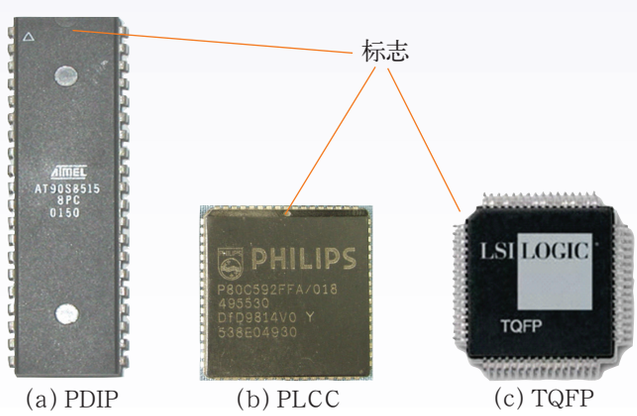
阅读材料

单片机的封装形式与引脚识别

塑料双列直插封装 (PDIP) 芯片与双列直插封装 (DIP) 芯片在封装外形上是一样的，仅材料有区别。它们一般体积较大，引脚数量较少 (8 ～ 64 条)，往往被插在芯片座上使用，便于更换。该类芯片引脚编号的识别方法是：如图 2.6(b) 和图 2.12(a) 放置芯片，从豁口左边第 1 引脚开始逆时针方向排列依次对应引脚 1，2，3，…。

塑料封装正方形 (PLCC) 芯片的每条边都分布有引脚，数量较多 (20 ～ 84 条)，所以很多微处理器或大规模集成电路都采用这种封装形式，它们也被安装在专用的芯片座上，便于插拔。PLCC 引脚的识别方法是：如图 2.12(b) 放置芯片，辨认其上一个带圆点标志的引脚，这就是第 1 个引脚，从该引脚逆时针方向排列依次对应引脚 1，2，3，…。

扁平方形封装 (TQFP) 的外形尺寸小 (7 ～ 28 mm)，引脚数量多 (32 ～ 256 条)，体积更紧凑，广泛应用于手机、笔记本电脑等小巧精致的电子产品中。TQFP 芯片引脚识别方法为：按图 2.12(c) 放置芯片，找到角部标志（圆弧形角），在这个标志左边为芯片的第 1 个引脚，从该引脚逆时针方向排列依次对应引脚 1，2，3，…。



(a) PDIP　(b) PLCC　(c) TQFP

图 2.12　集成电路的封装形式

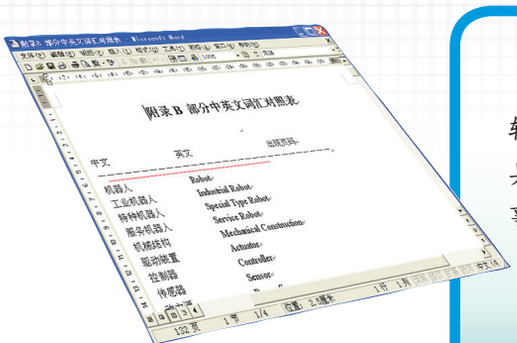
微信公众号：电子课本大全

第三节　单片机的开发环境



学习导航

1. 单片机程序开发环境的主要功能是什么?
2. 单片机程序开发按怎样的流程进行?





现象与问题

大家可能使用过文字编辑软件编辑文件，还有表格编辑软件编辑表格等，这些软件都称作应用软件，它们的图形界面格式大同小异，如果我们学会了其中的一种软件，那么掌握别的软件也不是难事。

讨论：

1. 选择一种文字编辑软件，了解软件界面包括哪些菜单项。
2. 如果在某个计算机操作系统环境下给单片机编制程序，是否也需要一种专用的编程软件?

计算机系统是由硬件和软件两部分组成的，以单片机为核心构成的简易机器人控制器也是如此。单片机及其外围电路是控制器的硬件，固化在单片机中的程序是控制软件。硬件设计好后一般不会改变，但控制软件随着所要完成的任务不同而千变万化。我们要想使机器人按人们的意愿完成各种任务，就必须学会怎样给机器人编程，也就是怎样给单片机编程。给单片机编程就必须了解单片机编程的开发环境，包括单片机的开发流程。

一、单片机的开发流程

单片机虽然是一个微型计算机，但是它没有PC机那样丰富的软硬件资源，所以它的开发必须借助某些开发装置。显然，开发单片机应用程序以PC机为平台最为合适。单片机编程还应该得到一定的软件开发环境的支持，一般在专用程序开发环境下进行，这个开发环境具有对用户输入程序代码进行编辑、编译、调试、模拟和程序下载等功能。

开发单片机应用程序时，通常按照图2.13所示的流程进行。

1. 编写源程序

在PC机上可以用3种方式编写源程序，即图形化语言编程、C语言编程和汇编语言编程。对不同的开发环境而言，这3种语言可能

微信公众号：电子课本大全

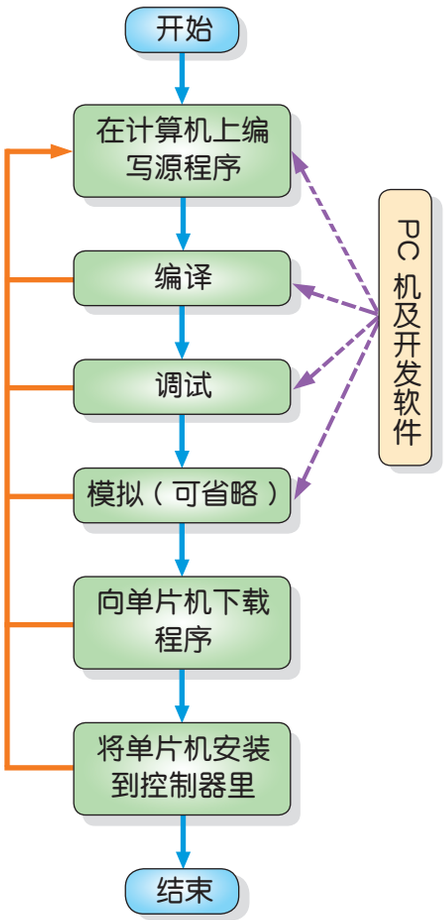


图 2.13　单片机程序开发流程

只有其中的某一种，也可能同时具备多种。

2．编译

编译也在 PC 机上进行。这个环节的任务是检查程序语法错误，并把源程序转换成目标代码（机器代码）。不同单片机的编译软件互有差别，而且图形化语言、C 语言和汇编语言 3 种编程方式也有不同的编译软件对应。

3．调试

汇编语言编程或 C 语言编程环境中通常有程序调试功能。用户调试时允许在程序中设置单步、断点、连续 3 种运行方式，从而可以详细了解程序运行的中间状态，便于找出程序中的错误。

4．模拟

借助 PC 机，让编好的程序在一定的环境下运行，模仿程序的执行过程。看看机器人的动作是否达到预期的要求。所谓一定的环境，指软件模拟环境或硬件模拟环境。如果程序很简单，也可以省略此步骤。

5．将程序下载至单片机

不同的单片机有不同的下载方式。麻烦一些的需要借助写入器（如 PIC 单片机）。AVR 单片机采用一线下载的方式，即在 PC 机上完成编程、编译和模拟等工作后，借助一根特制的编程电缆就能完成将程序向单片机的下载。电缆的一端连接到 PC 机的打印机接口或串行通信口，另一端连接到基于单片机的简易机器人控制器上。显然，这样应用起来十分简便。这种方式正在成为单片机下载的主流。而这类单片机内部的程序存储器一般都应该配备 Flash 存储器。

6．安装单片机

把完成程序下载的单片机安装到简易机器人的控制器里。有时因为单片机的拆卸不方便，就直接向控制器下载程序，甚至控制器干脆就不从机体上拆除。

如果在编译、模拟、下载和安装的操作中出现错误，都应该返回源程序的编写环节进行修改，然后重试，直至顺利通过开发过程。

二、ROYA 开发环境

“ROYA”是一种为简易机器人控制器编程服务的软件集成开发环境。在这个集成开发环境中，用户可以方便地完成程序输入、编辑、编译、调试、模拟及下载等功能。该软件开发环境包括图形化语言、C 语言两种编程环境。下面简要介绍 ROYA 的使用方法。

1．启动 ROYA 软件

ROYA 软件安装完成后，在 Windows 桌面上双击 ROYA 图标，或从“开始”菜单进入“程序”，然后选择“ROYA 编程软件”，即进入 ROYA 的欢迎界面。

微信公众号：电子课本大全

稍事等待，即从欢迎界面自动进入ROYA图形化语言开发环境的主界面(图2.14)。

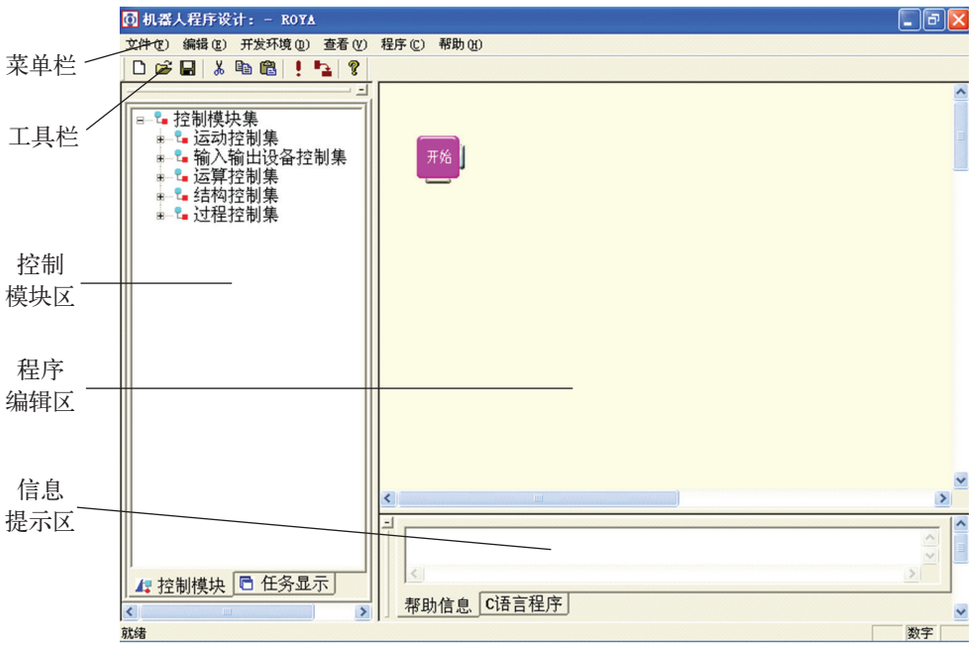


图 2.14　ROYA 图形化语言开发环境主界面

2. 选择编程方式

ROYA开发环境提供了两种编程方式：图形化语言编程和C语言编程。软件启动后将直接进入图形化语言开发环境，如果想进入C语言编程方式，可以从“开发环境”菜单中选择“C编程方式”。在软件使用过程中，两种编程方式可以随时切换。

3. 编写控制程序

选择某种编程方式后，就可以进行编程。用户可以编写一个新程序，也可以从“文件”下拉菜单中打开一个已有的程序进行修改。具体的程序编写方法将在后面详细介绍。

4. 保存程序

从“文件”下拉菜单中选择“保存”，即可将程序保存在PC机的硬盘中。

5. 编译程序

编译程序用于检测程序中的语法错误，并将源程序转换为机器人控制器能认识的机器语言程序。程序编写完成后，从“程序”下拉菜单中选择“编译并链接”，就能实施对源程序的编译。

6. 下载程序

经编译确认程序正确后，它就可以被下载到机器人控制器上了。下载时，从“程序”下拉菜单中选择“下载程序”，于是程序便自动地从PC机下载到控制器。请注意：

(1) 只有通过编译的程序才能被下载。

(2) 确认PC机与控制器连接无误。

7. 运行程序

下载完成后，就可以在控制器上运行控制程序。按下启动按钮，控制器中的程序就能自动运行。运行时控制器可以继续与主计算机连接在一起，也可以脱离主计算机单独运行，按停止按钮即可中止用户程序。

8. 退出ROYA

ROYA的退出方式与Windows常用应用软件的退出操作相同。

微信公众号：电子课本大全

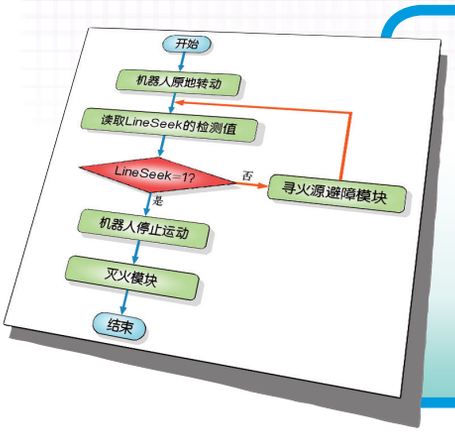
第四节　图形化语言编程



学习导航

1．图形化语言编程有什么优点？

2．如何使用图形化语言中的顺序、循环、选择 3 种程序结构编程？



现象与问题



同学们都知道，使用某种计算机语言编写应用程序时，通常需要先编制一个程序流程图，然后在流程图的相应节点处加入若干语句，就形成了完整的程序。

讨论：

1．程序流程图有什么特点？

2．能否仅仅做出程序流程图，就能自动生成相应的应用程序？

目前，图形化语言编程方式在简易机器人开发软件中比较流行。这种编程方式的主要优点是直观、易于理解，所以特别适合初学者。图形化语言编程方式与设计程序流程图类似，特点是借助若干图形模块（由图形化语言开发环境提供）来设计控制程序。用户设计好程序流程后，往每个流程节点放置对应的控制模块即可。

ROYA 图形化语言开发环境的主界面分成 3 个区域：控制模块区、程序编辑区和信息提示区。

控制模块区存放所有图形化的控制模块，控制模块被组织成树状结构，单击树根或子树前的加号可以将树展开。

程序编辑区的空间比较大，是用户借助控制模块编写程序的区域。

信息区用来显示程序的编译信息。如果在设计程序时存在一些错误，那么，在编译程序阶段信息区里就会出现相应的警告。

一、图形化控制模块

ROYA 图形化语言开发环境提供以下几种控制模块集：运动控制模块集、输入输出设备控制模块集、运算控制模块集、结构控制模块集、过程控制模块集。

每一个模块集又包括下一层的控制模块（图 2.15）。运动控制模

微信公众号：电子课本大全

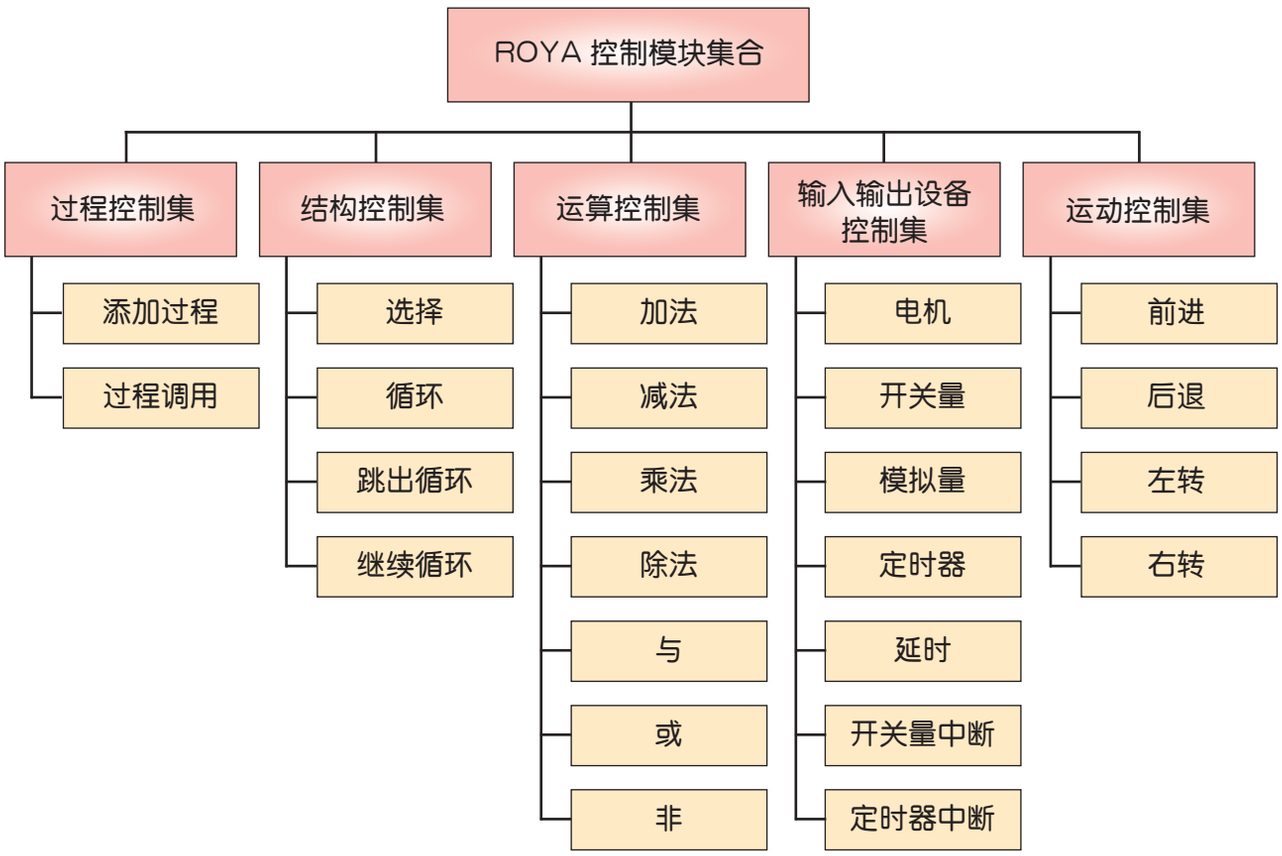


图 2.15　ROYA 的功能模块

块集用来控制机器人的行为，例如前进、转弯、后退等。输入输出控制模块集用来控制机器人的输入输出设备，例如传感器、电机、定时器等。

程序的结构由结构控制模块集来实现。ROYA 软件中，有 4 种结构控制模块，分别是选择控制模块、循环控制模块、继续循环模块、跳出循环模块，它们在程序编辑区中的图形如图 2.16 所示。

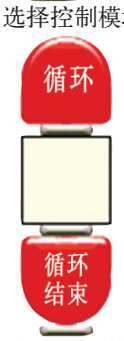
结构控制模块都有其控制属性。例如，在选择控制模块的属性对话框中需要设置一个比较条件，当条件满足时执行选择控制的左支路控制模块，反之执行选择控制的右支路控制模块。在循环控制模块的属性对话框中需要设定循环次数，表示处于循环结构中的控制模块被执行的次数。而跳出循环控制模块用于需要跳出本层循环的场合。当在一个循环体中有继续循环模块时，表示程序执行完该模块后不再执行本循环体内的其他模块，而是返回到循环体的起始部位重新开始运行。

如果要在程序中添加自己的过程，则需要用到过程控制模块集。

各控制模块的详细使用方法可以参考 ROYA 软件的帮助文档。



(a) 选择控制模块



(b) 循环控制模块



(c) 跳出循环模块



(d) 继续循环模块

图 2.16　结构控制模块集的 4 种图形表示

二、图形化语言编程实例

在这一部分，我们将在 ROYA 图形化语言开发环境中，针对 RoCon 控制器电路板上的 8 个 LED，设计和编制 3 个实验程序，使之以不同的形式点亮发光。这 3 个实验分别对应于编程中经常使用的顺序、循环、选择 3 种结构，是简易机器人运用图形化语言编程时很

微信公众号：电子课本大全

重要的概念和技巧。

实验 1　顺序点亮 8 个 LED

1. 实验目的

了解和掌握有关顺序结构的概念及其图形化语言编程的技巧。

顺序结构指程序指令按照先后次序逐条执行，对外只有一个入口，一个出口。

2. 实验要求

设计顺序点亮 8 个 LED 的程序结构，在图形化语言编程环境下编制程序流程。

3. 图形化语言编程步骤

顺序点亮 8 个 LED 的实验示意和程序流程如图 2.17 所示。

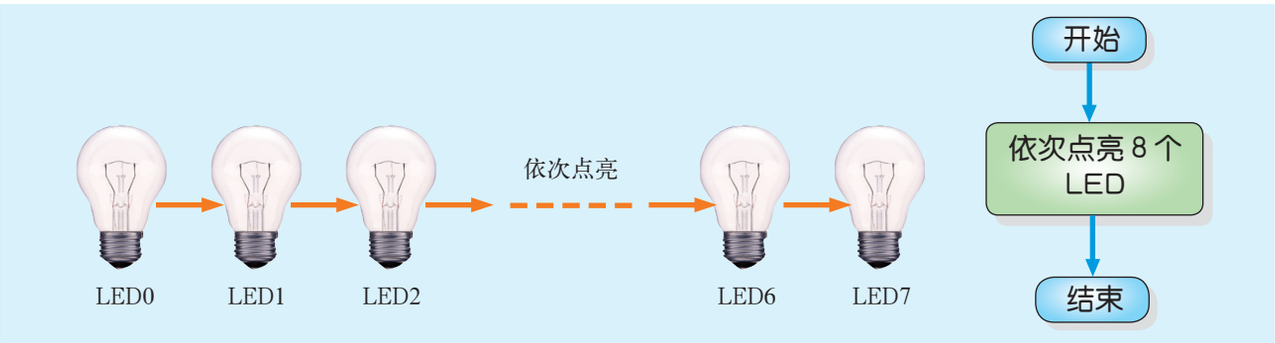


图 2.17　顺序点亮 LED

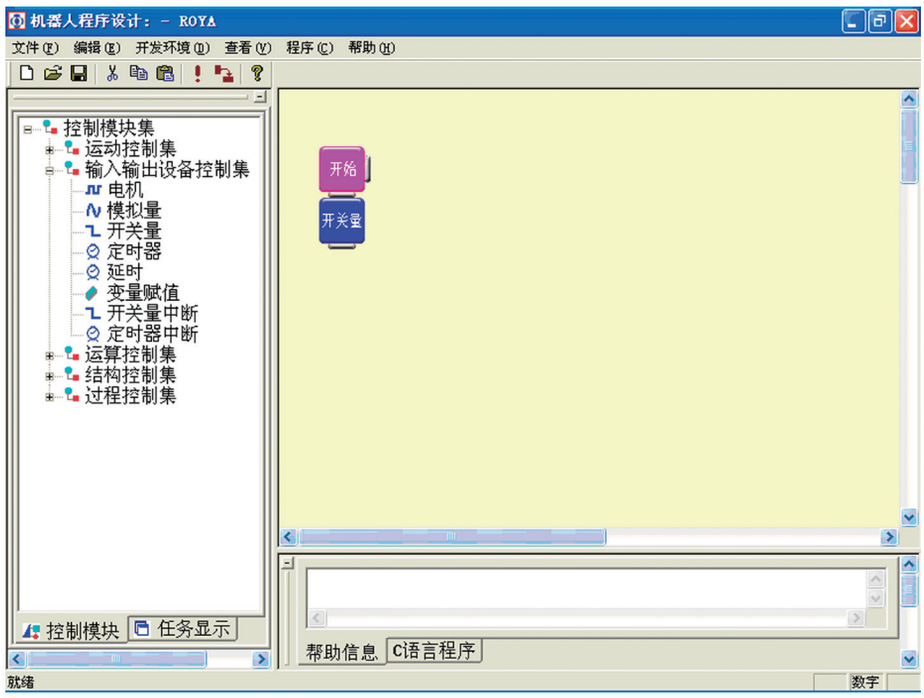


图 2.18　LED 顺序显示程序编程

第一步：在控制模块区双击“开关量”模块，该模块就会自动出现在程序编辑区。选中它并按住鼠标左键，把该模块拖到“开始”模块下面（开始模块在 ROYA 软件启动时自动出现在程序编辑区），如图 2.18 所示。

第二步：右击程序编辑区中的“开关量”模块，屏幕便显示出“开关量输入输出设置”对话框（图 2.19），其作用是对开关量输入输出进行设置。找到“选择通道号”栏，选择要控制的开关通道，然后定义这个通道的“输入”或“输出”属性，最后一个属性是确定这个开关量是“常量”还是“变量”。

微信公众号：电子课本大全

在本实验中，与这些属性设置所对应的选择是：通道 8、输出模式、输出常量设置为“1”（常量是指数字“0”或“1”，它们分别代表开关量的低、高电平），此时表示对应通道的 LED 发光。设置完毕后，单击“确定”退出。

第三步：模仿第一步的操作方法，把“延时”模块编排在“开关量”模块下面，如图 2.20 所示。

第四步：设置“延时”模块的属性（图 2.21）。右击程序编辑区的“延时”模块，屏幕显示“延时设置”对话框，在显示的属性栏中可以选中“使用变量”，也可不使用变量。默认选择为使用常数。向常数设置栏输入“500”，单位默认为 ms。设置完毕后单击“确定”退出。

第五步：在“延时”模块的下面再放置两个“开关量”模块。将第一个“开关量”模块的属性设置为通道 8、输出模式、开关量常数为“0”（即让上次点亮的 LED 熄灭）；把第二个开关量模块的属性设置为通道 9、输出模式、开关量常数为“1”（即点亮第 2 个 LED）。

第六步：在点亮第二个 LED 的开关量模块下再编排一个“延时”模块，延时 500 ms。

第七步：仿照上面第一步到第六步的步骤，直

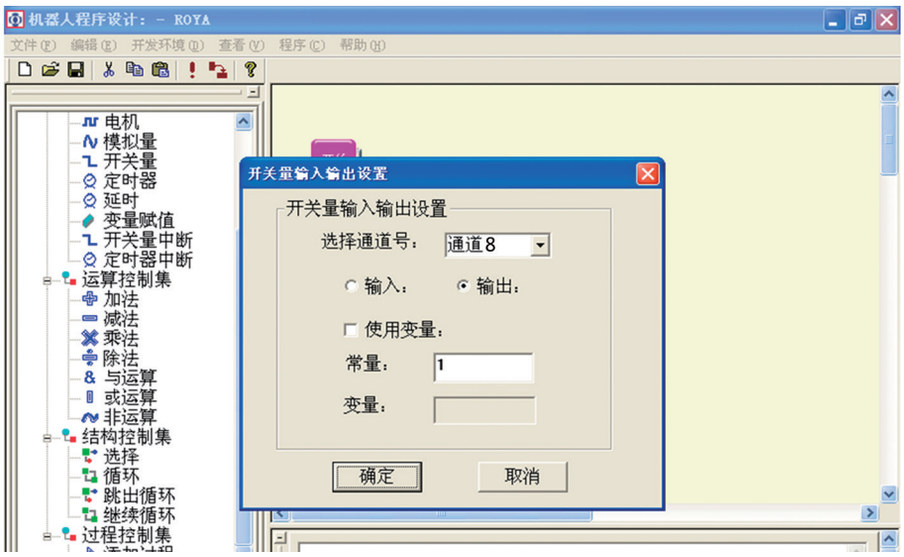


图 2.19　“开关量输入输出设置”对话框

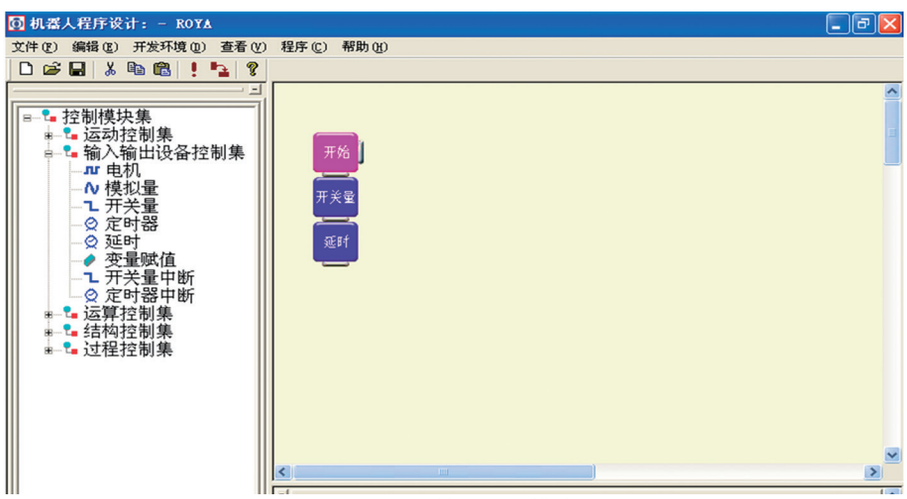


图 2.20　编排延时模块

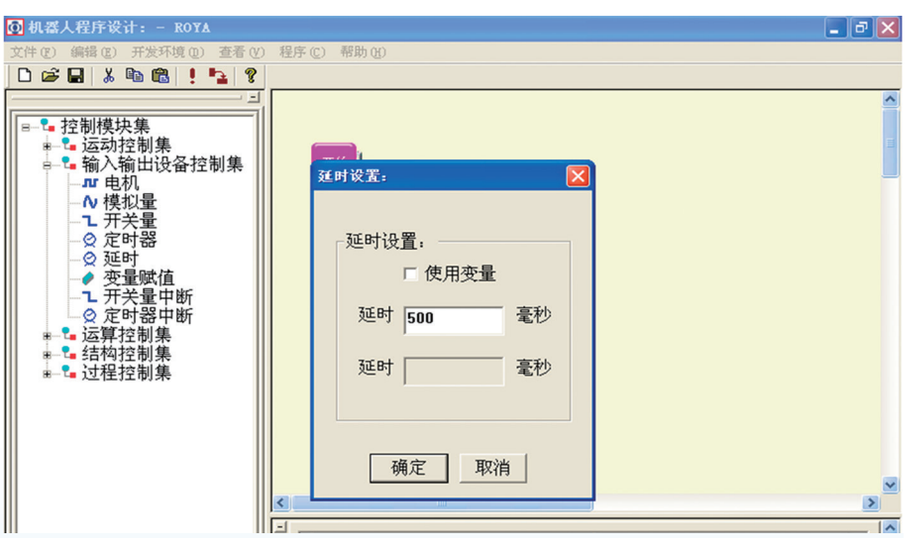


图 2.21　设置延时模块属性

微信公众号：电子课本大全

到 8 个 LED 都设置完毕。

第八步：“编译”程序，并把程序下载到机器人控制器中。

4. 运行

运行控制器程序，观察 LED 的发光情况和所编程序的预想是否一致。如果与原来的设想不一致，则应回到前面去修改程序。



探究尝试

请同学们按照实验 1 的步骤用 ROYA 图形化语言完成 8 个 LED 顺序点亮的程序。

1. 请问程序中“延时”模块有什么作用？如果不加“延时”模块会出现什么现象？
2. 改变“延时”模块属性中的时间长度，测试一下“延时”模块的延时时间是否准确。
3. 现实生活中，很多工作都需要严格按时间顺序完成，同学们能举几个这方面的实例吗？

实验 2　LED 循环点亮发光

实验 1 介绍了一种顺序控制结构，让 LED 按顺序发光、熄灭。不过程序运行一遍后，LED 的状态就再不发生变化了，LED 工作的时间太短了！在实验 2 中将想办法让 8 个 LED 首尾相接不断地发光、熄灭、发光、熄灭……如此循环下去。

1. 实验目的

了解和掌握有关循环控制的概念、图形化语言编程的技巧。

循环控制是指程序指令在循环体内按照先后次序逐条执行；当完成循环体内要求的动作之后，又返回循环体的起始位置重新执行。

2. 实验要求

在图形化语言开发环境下编制程序流程，在前面依次点亮 8 个 LED 的程序结构的基础上，使点亮的动作能够首尾相接，周而复始地运行下去。

3. 图形化语言编程步骤

点亮 8 个 LED 的循环实验示意和程序流程如图 2.22 所示。

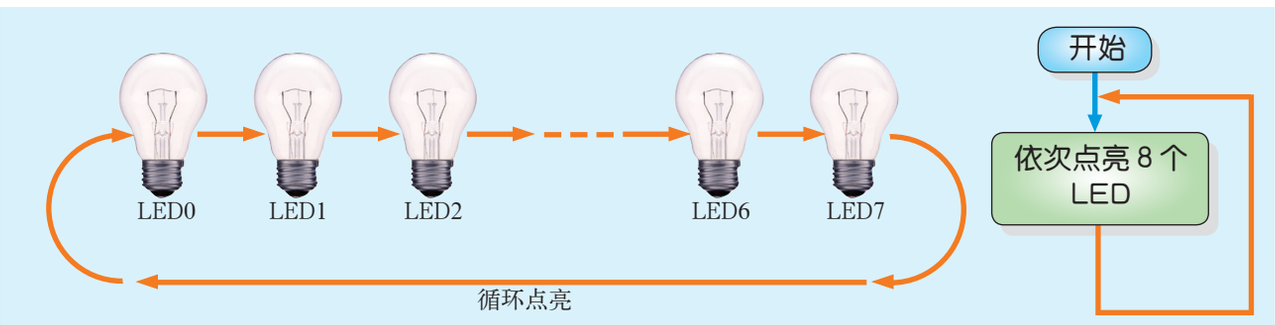


图 2.22　循环点亮 LED

微信公众号：电子课本大全

图形化编程的操作方式与前面所举的例子一样，唯一的区别是在“开始”模块下加了一对“循环－循环结束”模块，如图 2.23 所示。在对该模块的属性进行设置时，循环结构既可选择为无限循环，又可选择为有限循环（此时要标明循环次数）。图 2.24 中设置为无限循环。



图 2.23　LED 循环显示编程

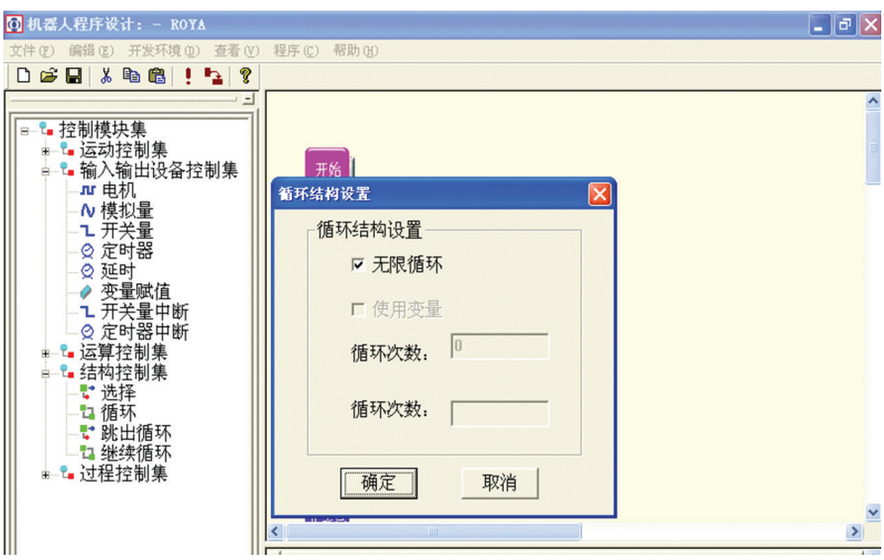


图 2.24　LED 循环发光的循环属性设置

4. 运行

运行控制器程序，观察 LED 的发光情况和所编程序的预想是否一致。如果与原来的设想不一致，则应回到前面去修改程序。

实验 3　LED 受控发光

上面 2 个实验有一个共同点，就是程序一旦运行起来是不受控制的，只有一条道走到底。但现实生活中常常会发生某些突发事件，这时，即使是简易机器人，也应该具有简单的智能，能够根据传感器接收的环境信息做出反应。实验 3 体现的就是这样一种功能。



探究尝试

用 ROYA 图形化语言按实验 2 的步骤完成 LED 循环发光程序。

1. 如果仅仅让 LED 循环发光 10 次，可以由哪些编程方法实现？

2. 如果在编制的程序循环体中的任意位置添加一个“跳出循环”模块，程序运行会有什么现象发生？添加位置不同对 LED 显示有什么影响？

微信公众号：电子课本大全

1．实验目的

了解和掌握编程中有关选择结构（分支结构）的概念、图形化语言编程的结构和技巧。

简易机器人在执行任务时往往需要对各种状态做出判断和选择，体现在程序上，就是根据对事先设定的条件成立与否的判断，选择下一步沿哪一条程序分支继续执行。当然，存在多个选择的情况也时有发生，在这种场合判断与选择的处理和单一选择时大同小异，因此，在本实验的例子中程序分支仅有两个流向。

2．实验要求

将一个接触传感器与简易机器人控制板的某个输入端口连接起来，机器人控制程序在每次循环开始时读取接触传感器的状态，如果接触传感器被断开，所有 8 个 LED 按实验 2 循环显示，如果接触传感器被接通，程序结束。这个实验的意义除了理解选择结构之外，简易机器人的控制器第一次通过程序将输入（接触传感器）与输出（LED）有机地结合起来动作。从广义来说，我们也就掌握了其他类型的输入输出器件如何与控制程序配合起来实现控制功能的方法。

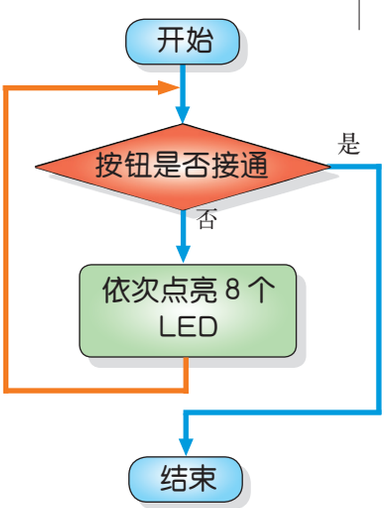


图 2.25　受控发光 LED

3．图形化语言编程步骤

程序流程图如图 2.25 所示。程序的总体结构是一个无限循环，但是每轮循环的前提是需要检查一次接触传感器的输入状态。如果接触传感器被接通，则程序流向为结束运行，LED 不再轮流点亮；否则，程序的流向将按实验 2 的方式轮流点亮 8 个 LED。

实验 3 的图形化程序如图 2.26 所示。该程序与实验 2 的区别在于增加了一个接触传感器的“开关量”设置模块和紧随其后的一个判断条件的“选择模块”（来自“结构控制集”），后者是分支结构所必须具有的一部分。

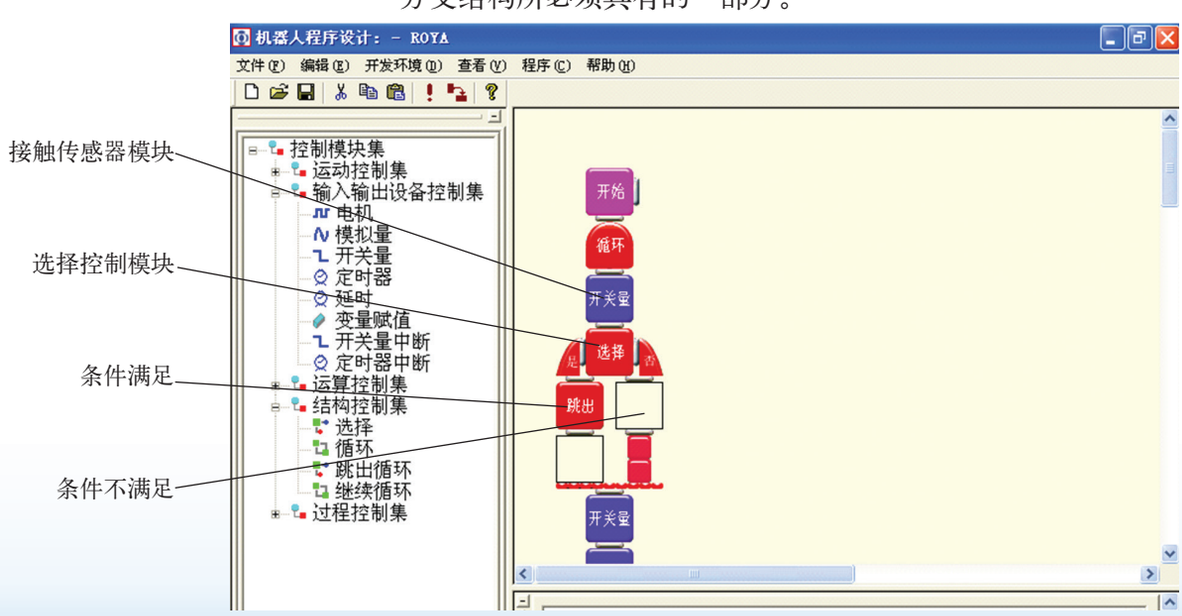


图 2.26　用接触传感器控制 LED 显示程序

微信公众号：电子课本大全

因为事先已经将接触传感器连接到传感器输入端口的通道 0（图 2.27），因此在“开关量输入输出设置”对话框中应该对应地将通道号选择为“通道 0”，输入输出属性设置为“输入”，同时在变量设置栏设置了用于读取开关状态的变量“v1”。

“分支条件设置”对话框的设置如图 2.28 所示。在该对话框中，设置判断分支条件的输入变量为“v1”，分支条件选择为“==”（等于），判断条件是常数 0。如果 v1=0，则执行左边的分支程序，否则执行右边的分支程序。从图 2.26 可以看出，执行左边的分支程序的结果是跳出无限循环，而右边的分支程序的结果为执行实验 2 的 LED 显示程序。

4．运行

运行控制器程序，观察 LED 的发光情况和所编程序的预想是否一致。

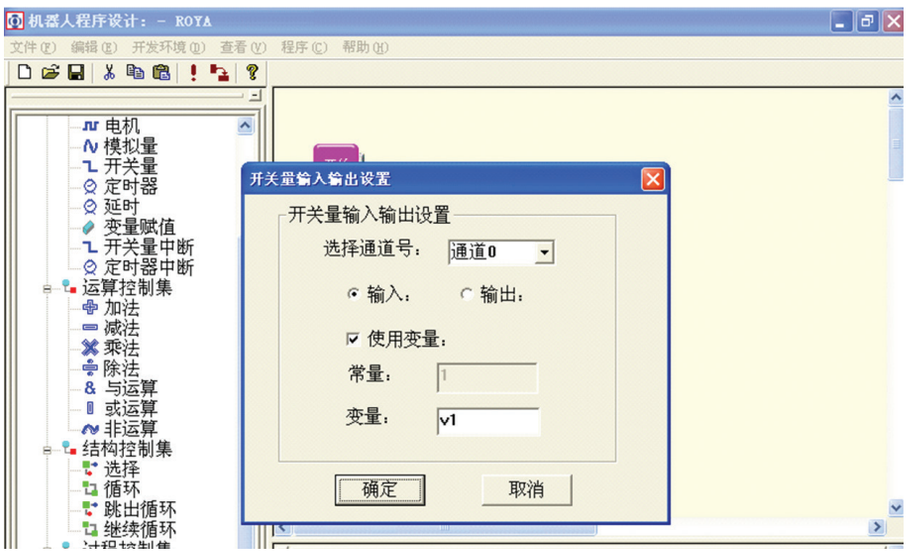


图 2.27　接触传感器的属性对话框中的内容设置

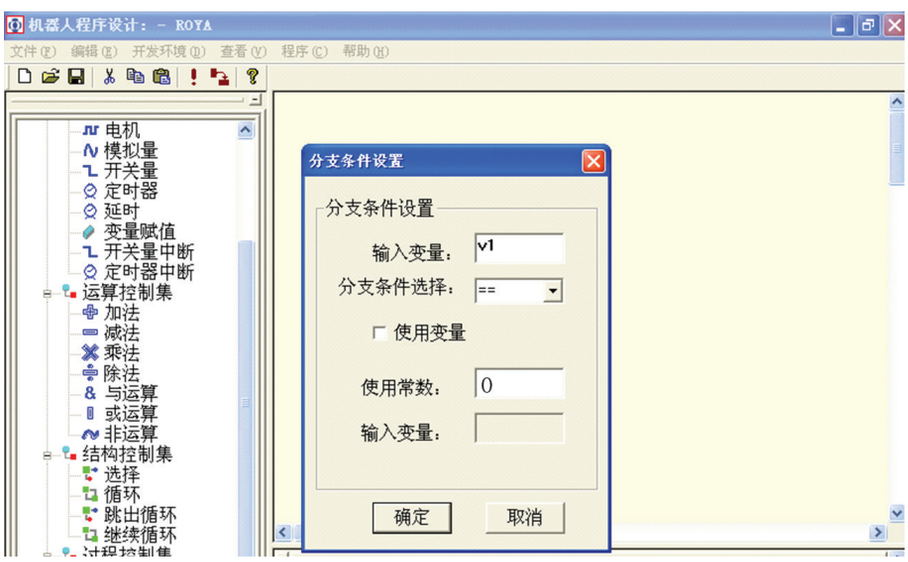


图 2.28　分支条件模块的属性设置



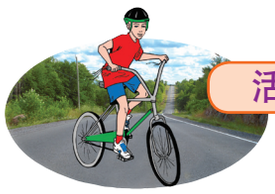
探究尝试

查询与中断

程序在判断某个事件是否发生时可以采取查询或者中断两种方式。打个比方，某人在开会期间又约了另一个人谈事，但不知来人的准确时间。他为了弄清客人是否已到，可以每隔几分钟就到门外看一看，也可以告诉门卫等客人到达后立刻通知他，前者实际上对应程序的查询方式，后者对应中断方式。请问：

1. 在实验 3 程序中检测接触传感器是否被按下时，采用的是查询方式还是中断方式？
2. 程序采用查询方式和中断方式各有什么优缺点？
3. 如果采用 ROYA 中的“开关量中断”模块，如何重新编制实验 3 的程序？

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

家用门铃控制系统

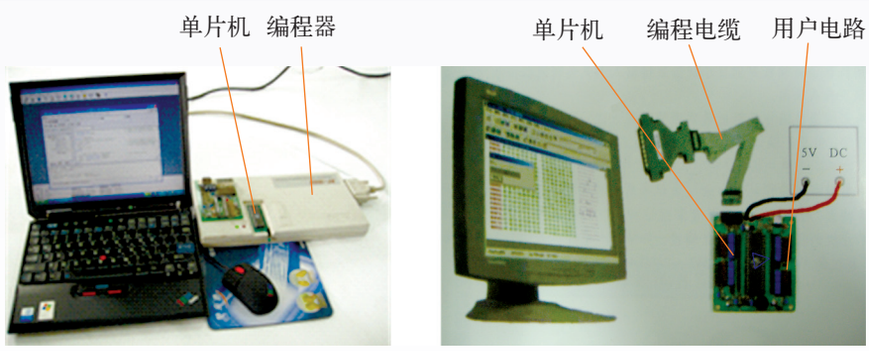
用 ROYA 图形化语言为某个家用门铃系统编写控制程序。该门铃系统采用 RoCon 控制器，并用 2 个接触传感器分别检测门铃是否被人按下以及门是否打开。如果有人按下了门铃，RoCon 上的蜂鸣器将每隔 5 s 鸣叫一次，每次鸣叫 1 s。只有当门打开，或者连续鸣叫 8 次（代表家里无人），鸣叫才停止。

阅读材料

单片机的在线编程

单片机程序的下载，也叫编程或固化，指把 PC 机上编译好的程序写入单片机的程序存储器中。它可以通过 PC 机上的串行口或并行口实现。早期的单片机在下载时需要专门的工具，图 2.29(a) 是 MCS-51 单片机用的一种编程下载工具，又叫编程器。下载时应将单片机插到它的专用芯片槽中，完成后将芯片拔下，再固定到用户电路板上。目前不少单片机都摒弃了这种下载方式，用户仅仅借助一根专用编程电缆连接 PC 机和单片机的有关引脚，便可实施下载。该种方式称为 ISP 编程，如图 2.29(b) 所示。

ISP 编程可以将最终用户代码直接写入电路板上的器件，因此实现起来比较简单。对于单片机来讲，可以通过 SPI 口或其他串行接口接收上位机传来的数据并写入存储器中。ISP 技术的优势是不需要编程器就可以进行单片机的实验和开发，单片机芯片可以直接焊接到电路板上，免去了调试时频繁插拔芯片所造成的不便。



(a) 使用编程器下载　　(b) ISP 下载

图 2.29　单片机的两种程序下载方式

微信公众号：电子课本大全

第五节　C 语言编程



学习导航

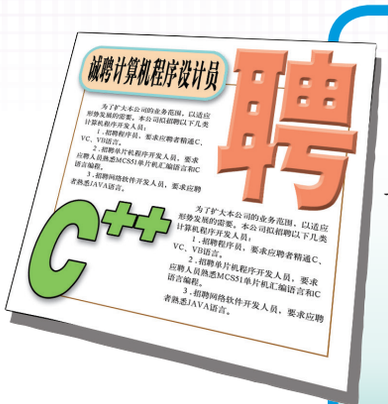
1．C 语言开发环境有哪些功能?

2．C 语言的基本语法包括哪些内容?

3．如何用 ROYA C 语言编制简易机器人控制程序?



现象与问题



打开报纸杂志，经常看到这样的招聘信息：

招聘程序员，要求应聘者精通 C、VC、VB 语言。

招聘单片机程序开发人员，要求应聘者熟悉 MCS-51 单片机汇编语言和 C 语言编程。

招聘网络软件开发人员，要求应聘者熟悉 JAVA 语言。

讨论：

1．你还能举出和上面招聘信息相似的例子吗?

2．据你所知，目前有多少种编程语言?

3．请查询一下，作为一个程序开发人员，哪些语言是必须掌握的?

C 语言是目前国际上广泛流行的一种高级语言，它兼顾了汇编语言的特点。C 语言有功能丰富的库函数，运算速度快、编译效率高、可移植性好，而且可以直接实现对硬件的控制。

对于简易机器人的程序开发，除了图形化编程外，一般还常用 C 语言和汇编语言两种编程方式。ROYA C 是针对简易机器人的一种专用 C 语言开发环境。ROYA C 语言较为简单、比标准 C(ANSI C) 语言更易于掌握，可以说是标准 C 语言的一个子集。

本节将以 ROYA C 为例，介绍 C 语言编程的开发环境、基本语法和程序结构，至于汇编语言的编程，读者可以参考 AVR 单片机的有关书籍，本课程不做介绍。

一、ROYA C 开发环境

图 2.30 是 ROYA C 的开发环境主界面，它由以下几部分组成：菜单栏、工具栏、代码编辑区、编译信息区、控制函数库区。

微信公众号：电子课本大全

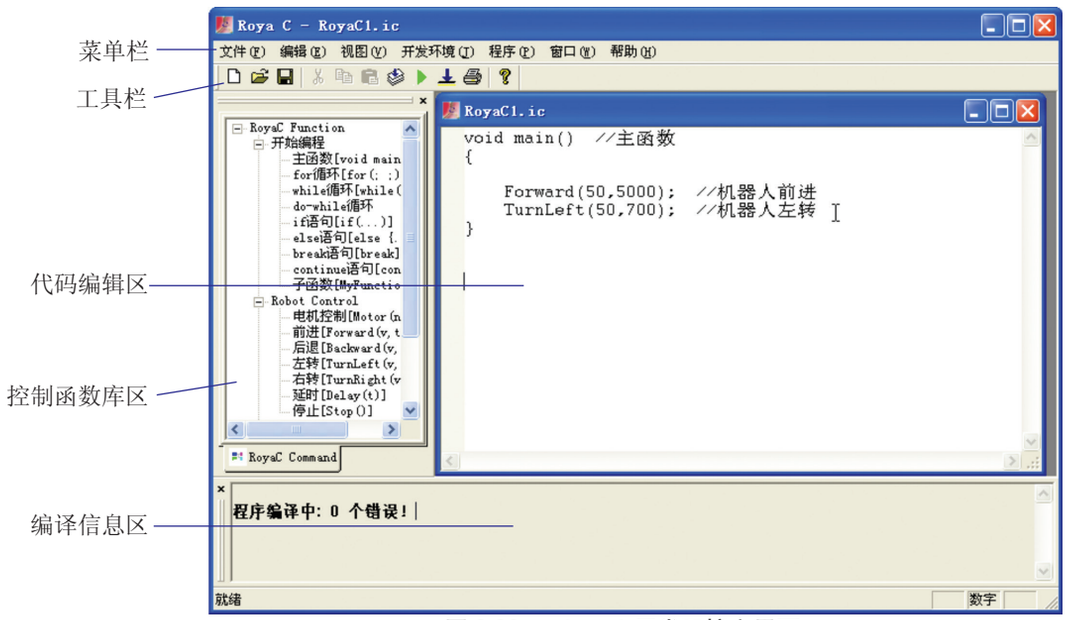


图 2.30　ROYA C 开发环境主界面

菜单栏：包含了各种操作项，有文件、编辑、视图、开发环境、程序、窗口、帮助，操作方法与 Windows 应用程序相同。

C 语言程序必须经过编译，变成单片机理解的机器语言才能运行。ROYA C 也不例外，在此特别强调一下“程序”下拉菜单中程序的“编译并链接”和“下载程序”。如图 2.31 所示，单击“程序”下拉菜单中的“编译并链接”，ROYA C 开发软件将自动检查程序是否正确，并把程序转换成机器语言，待看到编译信息区出现“0 个错误”字样，表明程序的编译被通过，可以向机器人控制板下载这个程序了。单击“程序”下拉菜单中“设置串口通道”（图 2.31），出现如图 2.32 所示的“选择串口”对话框，默认串口是串口 1。设置好串口通道后，单击“程序”下拉菜单中的“下载程序”，出现如图 2.33 所示的“下载提示”对话框。如果硬件连线无问题时，程序就会自动地下载，如

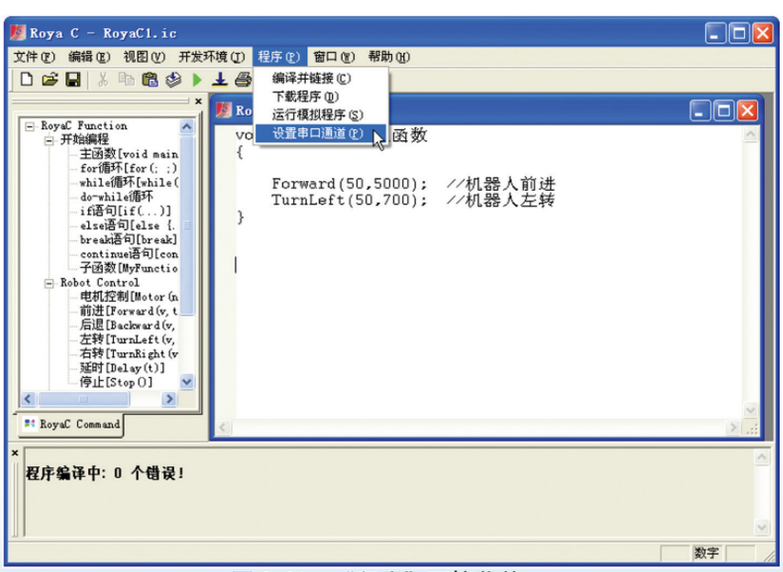


图 2.31　“程序”下拉菜单

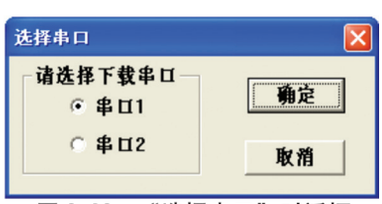


图 2.32　“选择串口”对话框



图 2.33　“下载提示”对话框

微信公众号：电子课本大全

图 2.34 所示。



图 2.34　“程序下载”对话框

工具栏：提供软件功能的快捷方式。

控制函数库区：提示机器人编程用到的各种函数，用户双击函数可自动添加到代码编辑区。

代码编辑区：可以同时打开多个程序进行编辑，支持剪贴板等功能。

编译信息区：编译信息区显示编译结果。如果程序中存在语法错误，那么错误位置及错误信息将被提示。



小 资 料

C 语言的历史

C 语言是在 20 世纪 70 年代初问世的，1978 年由美国的贝尔实验室正式推出。同时，由 B.W.Kernighan 和 D.M.Ritchit 合著了著名的《THE C PROGRAMMING LANGUAGE》一书，通常简称为《K&R》。但是，在《K&R》中并没有定义一个完整的标准 C 语言，后来美国国家标准协会 (American National Standards Institute) 在《K&R》基础上制定了一个 C 语言标准，于 1983 年发表，通常称之为 ANSI C。

早期的 C 语言主要是用于 UNIX 系统 (一种计算机操作系统)。由于 C 语言的强大功能和各方面的优点逐渐为人们认识，到了 20 世纪 80 年代，C 语言开始进入其他操作系统，并很快在各类大、中、小型计算机和微型计算机上得到了广泛的应用，成为当代最优秀的程序设计语言之一。

目前最流行的 C 语言有以下几种：Microsoft C、 Borland Turbo C 和 AT&T C。这些 C 语言版本不仅包含了 ANSI C 的标准，而且还各自做了一些扩充，使之更加方便、完美。

二、C 语言的基本语法

尽管 ROYA　C 语言较标准 C 语言简单，但基本语法和程序结构大部分是一样的。下面结合 ROYA　C 程序来说明这种语言的基本语法，如函数、数据类型、运算符与表达式、编译预处理等概念。



实践活动

在 ROYA C 开发环境中输入程序清单 2.1(注意，不要输入行号)。保存该文件，然后在“程序”的下拉菜单中选择“编译并链接”，如果没有错误，选择“下载程序”，把程序下载到简易机器人小车上。启动机器人，看机器人如何动作。

同学们在输入程序时注意有些程序行的末尾有“;”,有些没有,阅读ROYA C软件手册，总结一下哪些语句不需要带“；”，哪些语句必须有“；”。

微信公众号：电子课本大全

程序清单 2.1(文件 file.ic)

```
1   #include “robio.ic”              // 包含文件
    #define NUM 3                   // 常量定义
    void main(void)                 // 主函数
    {
5       int a;                      // 变量定义
        int b;
        int time;
        int speed;
        a=10;                       // 给变量赋值
10      b=a+20;                     // 算术运算表达式
        time=(a+b)*NUM;             // 算术表达式
        speed=a;
        Forward(speed,time);        // 函数
    }
```

1．编译预处理

程序清单 2.1 的第 1 行 #include“robio.ic”和第 2 行 #define NUM 3 是 ROYA C 提供的两种编译预处理命令（在标准 C 语言中还会遇到几种类似的特殊命令），编译系统必须先对它们“预处理”，然后将结果和源程序一起进行通常的编译处理。

#include“robio.ic”是一种“文件包含”预处理命令，意指程序文件 file.ic 将 robio.ic 的文件内容包含进来。而 robio.ic 是一段已经编写的 C 语言程序，这样做的优点是便于模块化编程，节省程序设计人员的重复劳动。文件包含预处理命令的格式为：

```
#include“文件名”
```

在第 1 行程序末尾有“// 包含文件”，这是一条程序注释，注释文字用“//”与程序语句隔开。注释不是程序，它不参加编译，是为了人们便于理解程序而加的说明。

另一种预处理命令是“宏定义”。“宏定义”的作用是用一个人们易于理解的标识符（名字）来代表数字，避免在编程时出现错误。如程序清单 2.1 中第 2 行 #define NUM 3，该语句含义是程序中用到的标识符“NUM”代表常数 3. 其基本格式为：

```
#define 标识符　常数
```

预处理命令不是程序必需的，可以有，也可以没有。

2．函数

函数是 C 语言的基本单位。一个 C 源程序必须包含一个 main 主函数以及若干其他函数。一个 C 程序就是一个函数定义的集合，在这个集合中有且仅有一个名为 main 的主函数。主函数是程序的入口，程序从这里开始运行，主函数的所有语句执行完毕，则运行程序结束。

C 语言中的函数分为两大类，一类是库函数，一类是用户自定义的函数。用户自定义的函数就是用户自己编写的函数，其格式如下：

```
类型 函数名（参数表）
{               // 函数体
数据说明部分；
执行语句部分；
}
```


微信公众号：电子课本大全

程序清单 2.1 中用户只使用了一个主函数，第 3 行的 void　main（void）是一条主函数语句。下面 {} 里的内容就是函数体，它包括说明部分和语句部分。main 前面的 void 表示函数返回值为“空”，即不带返回值；main 后面括号内的 void 表示没有函数参数。

库函数是 C 语言软件提供的函数，用户按函数格式直接使用，这样不仅使程序简捷，也节省了程序开发时间。程序清单 2.1 中的第 13 行程序 Forward（speed，time）；就是一个 ROYA　C 软件提供的库函数，其作用是让简易机器人按照变量 speed 的速度前进，前进时间由变量 time 确定。

如果我们利用 ROYA　C 函数库中的电机驱动函数编制一个让机器人前进的函数，这就涉及用户自己定义函数的问题，程序清单 2.2 中 run（）是一个用户自己定义的机器人朝前运动的函数。

第 1 行函数定义中，函数类型为 void，表示这个函数没有返回值。函数名为 run，参数表中的参数(int x，int y) 意指 x，y 为整型变量（注意，参数及类型说明必须在参数表内声明），x 代表电机的运行速度，y 代表电机的运行时间，这两个参数的实际值由调用它的程序提供。

函数体内调用了 3 个库函数，程序第 3 行 Motor(0，x) 和第 4 行的 Motor（1，0−x) 分别表示 0 号电机和 1 号电机各以 x 的速度正转和反转；第 5 行 Delay(y) 表示程序延时 yms，即机器人向前运动持续的时间；第 6 行 Stop() 表示两个电机停止运行。

程序清单 2.2：

```
1   void  run(int x，int y)  // 类型 函数名（参数表）；
    {                        // 函数体
        Motor(0，x) ；       // 0 号电机以 x 速度正转
        Motor(1，0−x)；      //1 号电机以 x 速度反转
5       Delay(y)；           // 延时 y ms
        Stop( )；            // 两电机停止运行
    }
```



实践活动

在 ROYA C 开发环境中输入程序清单 2.3，编译并下载该程序到控制器上，运行程序，观察机器人如何运动；然后把程序中的 run(50,5000) 用 ROYA C 库函数 Forward(50,5000) 代替，在机器人上运行该程序，看看和程序清单 2.3 的运行结果是否一样。

程序清单 2.3

```
1   void  run(int x，int y)  // 类型 函数名（参数表）；
    {                        // 函数体
        Motor(0，x)；        // 0 号电机以 x 速度正转
        Motor(1，0−x)；      // 1 号电机以 x 速度反转
5       Delay(y)；           // 延时 y ms
        Stop( )；            // 两电机停止运行
    }
    void  main(void)         // 主函数
    {
10      run(50,5000)；       // 调用 run 函数
    }
```


微信公众号：电子课本大全



新视窗·知识外延

指令流和数据流

计算机运行的程序统统放在内存中，从形式上看，它们都是二进制数，指令和数据由CPU的逻辑控制器来区分。CPU执行程序分为取指周期和执行周期两个阶段，取指周期中从内存读出的信息流是指令流，它流向控制器；而在执行周期中从内存读出或送入内存的信息流是数据流，它由内存流向运算器，或者由运算器流向内存。

算术表达式

用算术运算符和括号将运算对象连接起来的式子称为算术表达式。其中的运算对象包括常量、变量、函数等。程序清单2.1中第10行、11行就是两个算术表达式。



3．数据与数据类型

在程序清单2.1中，第5、6、7、8行程序是变量定义语句，表示定义a、b、time、speed为整型变量。要理解整型变量的概念，应首先了解C语言的数据和数据结构。数据是具有一定格式的数字或数值，它是计算机操作的对象。不管使用何种语言、何种算法进行程序设计，最终在计算机中运行的只有二进制数据，即所谓的指令流和数据流。

C语言中的数据有常量和变量之分。

常量是指在程序运行过程中值保持不变的量。常量可以有不同的数据类型，如“0”“1”“2”“−3”等整型常量及“a”“b”等字符型常量。程序清单2.1中第2行的NUM就是用户定义的一个整型常量，其值为3。

变量指在程序运行中值可以改变的量。变量由两部分组成：变量名和变量值。程序清单2.1中的a、b、time、speed等都是变量，它们的值由后面的赋值语句提供。

数据类型指的是数据的不同格式。ROYA C语言支持的数据类型有字符型(char)和整型(int)数据。ROYA C编译器支持的数据类型、长度和值域范围如表2.2所示。

表2.2　ROYA C的数据类型

数据类型	长度(bit)	长度(byte)	值域范围
char	8	1	0 ~ 255
int	16	2	−32 768 ~ 32 767

4．运算符、表达式及规则

在程序清单2.1中，第9、10、11、12行都是赋值语句，意指将“=”右边的常量、变量或表达式赋给“=”左边的变量，“=”是赋值运算符。

(1)算术运算符：ROYA C语言的算术运算共有5种，其运算符号(简称运算符)分别是：

+：加法运算，或正值符号；
−：减法运算，或负值符号；
*：乘法运算符；
/：除法运算符；
%：模（求余）运算符。例如9%5，是9除以5所得的余数4。

运算符的优先级规定：先乘、除、模，后加、减，括号的优先级最高。

算术运算符的结合性规定为从左至右方向，又称为“左结合性”。即当一个运算对象两侧的算术运算符优先级相同时，运算对象先与左面的运算符结合。

微信公众号：电子课本大全

(2) 关系运算符：关系运算是指两个数据互相比较，比较的结果有“真”“假”两种。

C 语言中的关系运算符有如下 6 种：

＜：小于；
＞：大于；
＜＝：小于或等于；
＞＝ 大于或等于；
==：测试等于；
!=：测试不等于。

其中，前 4 种关系运算符＜、＞、＜＝、＞＝的优先级相同，后 2 种＝＝、！＝的优先级也相同。不过，前 4 种的优先级高于后 2 种。

关系运算符的优先级低于算术运算符但高于赋值运算符。例如：

c ＞ a+b 等效于 c ＞ (a+b)；
a ＞ b!=c 等效于 (a ＞ b)!=c；
a==b ＜ c 等效于 a==(b ＜ c)；
a=b ＞ c 等效于 a=(b ＞ c)。

关系运算符的结合性为左结合。

关系表达式是用关系运算符将两个或两个以上表达式连接起来的式子。关系表达式产生的结果是一个逻辑值，即真或假。1 代表真，0 代表假。



实践活动

按照关系表达式的定义，在下面的空格中填入合适的内容：

若 a ＝ 4,b ＝ 3,c ＝ 1，则

1. a>b 的值为“_____(真，假)”，其表达式的值为 1。
2. b+c<a 的值为“假”，表达式的值为_____(0，1)。
3. (a>b) ＝＝ c 的值为“_____(真，假)”，表达式的值为_____(0，1)。
4. d ＝ a>b，d 的值为_____(0，1)。
5. f ＝ (a>b)>c，由于关系运算符的结合性为左结合，故 a>b 值为_____，而 1>c 值为 0，故 f 值为_____(0，1)。

微信公众号：电子课本大全

（3）逻辑运算符：C 语言不但支持算术运算、关系运算，还支持逻辑运算，即“与”“或”“非”3 种逻辑关系，其逻辑运算符为：

&& ：逻辑“与”；
|| ：逻辑“或”；
！：逻辑“非”。

“&&”和“||”是双目运算符，要求有两个运算对象，而“！”是单目运算符，只要求有一个运算对象。

逻辑表达式的结合性为左结合。

逻辑表达式是用逻辑运算符将关系表达式或逻辑量连接起来的式子。其值是逻辑量“真”或“假”。1 代表真，0 代表假。



实践活动

按照表达式的定义，在下面的空格中填入合适的内容：

若 a=4,b=5，则

1. c=！(b>a) 为假，即 c 的值为_____(0，1)，因为 b>a 为真。

2. d=(b>a)||(b>a) 为_____(真，假)，即 d 的值为_____(0，1)，因为 b>a 为_____(真，假)，两者相或也为_____(真，假)。

3. e=(b>a)&&(b>a) 为_____(真，假)，即 e 的值为_____(0，1)，因为 b>a 为_____(真，假)，两者相与也为_____(真，假)。

C 语言的逻辑运算符、算术运算符、关系运算符及赋值运算符之间的优先级次序为：“！”最高，算术运算符次之，关系运算符再次之，随后是“&&”和“||”，最低为赋值运算符。

（4）自增减运算符：自增减运算符的作用是使变量值自动加 1 或减 1。其运算符为：

++i，--i ：在使用变量 i 之前，先使 i 值加（减）1；
i++，i--：在使用变量 i 之后，再使 i 值加（减）1。

下面举例说明两种用法的区别。

若 i 值原来为 5，则
j=++i 后，j 值为 6，i 值也为 6；
j=i++ 后，j 值为 5，i 值为 6。

微信公众号：电子课本大全

三、C 语言的程序结构

C 语言是一种结构化程序编程语言。这种结构化体现在程序由若干模块（函数）组成，每个模块包含若干个基本结构，而每个基本结构中有若干条语句。C 语言有 3 种基本结构：顺序结构、选择结构和循环结构。这 3 种结构的概念与 ROYA 图形化语言是一样的。下面将结合实例介绍如何用 ROYA C 来编写程序。

1. 顺序结构

程序清单 2.1 就是一个典型的顺序结构程序，程序从 main() 函数处开始执行，按顺序执行到末尾 Forward() 处，然后程序停止。

2. 循环结构

C 语言提供了 3 种循环语句：for 语句、while 语句和 do-while 语句，它们可完成相同的功能。

（1）for 语句：程序清单 2.5 的任务是让简易机器人不停地走一个四边形路径，如图 2.35 所示。如何在编程中实现这个重复动作，就涉及 C 语言的循环结构。

程序清单 2.5

```
1   void  main(void)                  // 主函数
    {
        for( ; ; )                    // 循环语句
            {                         // 循环体
5           Forward(50, 5000);        // 机器人前进
            TurnLeft(50, 1500);       // 机器人左转
        }
    }
```

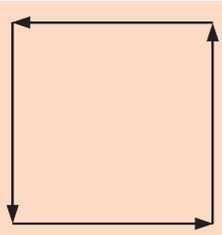


图 2.35　四边形路径

程序清单 2.5 的 main(void) 主函数中，for(；；)语句就是循环语句。该循环体内调用了两个库函数：Forward(50，5000) 函数表示机器人前进（车轮以 50% 的全速，持续时间为 5 000 ms），TurnLeft（50，1000）函数表示机器人左转弯（车轮以 50% 的全速，持续时间为 1 000 ms）。程序循环地执行这两个语句，机器人就不停地沿一个四边形路径运动。

for 语句的一般形式为：

```
for( 表达式 1，表达式 2，表达式 3)
{
   语句                          // 循环体
}
```



实践活动

仔细阅读程序清单 2.4。分析程序中 m、n 的运行结果是什么。

程序清单 2.4

```
void  main(void)
{
    int  i;
    int  j;
    int  m;
    int  n;
    i=8;
    j=10;
    m=++i;
    n=j++;
}
```


微信公众号：电子课本大全



探究尝试

ROYA C 库函数中提供了一个机器人原地左转函数 TurnLeft(speed, time)，speed 代表机器人转向速度，速度范围为 1 ～ 100，100 代表机器人最大速度；time 代表机器人左转持续时间，单位为 ms。程序清单 2.5 中的 TurnLeft 表示左转一个角度。

1. 想一想，确定这个左转角度有几种方法？

2. 如果想要机器人在原地左转 180°，如何编程？

其中，表达式 1 代表循环的初始条件；表达式 2 代表循环的终止条件；表达式 3 代表从初始条件到终止条件的步长增量，注意，这个增量可以为正数，也可以为负数。

for 语句的执行过程如下：

第一步：通过表达式 1 对循环进行初始化。

第二步：判断表达式 2 给出的循环条件是否满足，若满足，则执行循环体内语句，然后执行第三步，否则转到第五步。

第三步：求解表达式 3。

第四步：回到第二步继续执行。

第五步：退出 for 循环。

程序清单 2.5 中的 for 语句实际上是一个无限循环，因为未给出循环条件表达式 2，即程序无须判断循环条件，故循环将无休止地执行下去。从这个例子可以知道，循环条件中的各表达式可有可无，但两个分号“；”不可缺少。

（2）while 语句：



探究尝试

在 ROYA C 开发环境中按程序清单 2.6 输入程序，解答下列问题：

1. 该程序中的 for 语句与程序清单 2.5 中的 for 语句有什么不同？

2. 该程序完成什么功能？

3. 如果把该程序中第 4 行改为 for(j=2；j<22；j=j+1)，再运行修改后的程序，比较一下两个程序下载到机器人后的运行情况有何异同。

4. 如果把该程序中第 4 行改为 for(j=0；j<= 20；j=j+1)，再运行修改后的程序，比较一下两个程序下载到机器人后的运行情况有何异同。

程序清单 2.6

```
1       void  main(void )          // 主函数
    {
        int   j;
        for(j=0;j<20;j=j+1 )       // 循环语句
5       {                          // 循环体
          Forward(50，5000);       // 机器人前进
          TurnLeft(50，1500);      // 机器人左转
           }
    }
```


微信公众号：电子课本大全

```
while( 表达式 )
{          // 循环体
    语句
}
```

while 语句的特点是先判断表达式，若表达式的值非 0，程序执行循环体，否则不执行循环。

如果把程序清单 2.5 所示的程序用 while 语句来表达，仅仅用 while 语句代替 for 语句即可，如程序清单 2.7。

程序清单 2.7

```
1    void  main(void)                  // 主函数
     {
          while(1>0)                   // 循环语句
            {                          // 循环体
5             Forward(50，5000)；      // 机器人前进
              TurnLeft(50，1500)；     // 机器人左转
          }
     }
```

在程序清单 2.7 中，因为 while 后面表达式的值非 0，所以程序一直运行循环体内的语句。

（3）do-while 语句：

```
do
{
      语句      // 循环体
}
while ( 表达式 )；
```

该语句的特点是：先执行一次循环体内的语句，然后判断表达式。若表达式的值非 0，则返回循环体重新执行该语句，如此反复，直到表达式的值为 0。

3. 选择结构

为了演示选择结构的执行过程，在简易机器人上连接一个接触传感器，让机器人控制电路板上的两个 LED 按照程序清单 2.8 点亮和熄灭。程序启动后，机器人控制器循环地检测接触传感器的输入值，一旦传感器接通（按下），LED 便改变状态，程序如程序清单 2.8 所示。

程序清单 2.8

```
1       void  main(void)                  // 主函数
        {
            int  v1；                     // 定义整型变量
            while(1>0)                    // 循环语句
5           {
              v1=SwitchI(0) ；            // 从通道 0 读入开关量值
              if(v1  ==  1)               // 判断条件
              SwitchO(8，1) ；            // 点亮第 1 个 LED
```



探究尝试

1. 如果用 while 语句实现程序清单 2.6 中的程序，如何编程？

2. 如果用 do-while 语句改写程序清单 2.7 中的程序，如何编程？

微信公众号：电子课本大全

```
            if(v1==0)                    // 判断条件
10          SwitchO(8，0)；              // 熄灭第 1 个 LED
        }
    }
```

程序中 SwitchO（0）是一个由 ROYA　C 软件提供的库函数，它读入接触传感器（通道 0）的状态值，并将其存放到变量 v1 中。

选择语句 if(v1==1) 的含义是：如果 v1 的值等于 1（接触传感器未被按下），程序执行 if 后面的 SwitchO（8，1）函数，该函数表示对通道 8 输出开关量 1，即点亮第 1 个 LED；如果 v1 的值等于 0（接触传感器被按下），程序执行第 2 个 if 后面的 SwitchO（8，0）函数，即第 1 个 LED 灭。

if 语句是 C 语言中常用的一种选择语句，它有两种形式。程序清单 2.8 中的 if 语句是最基本的一种，其格式为：

```
if（表达式）
    语句
```

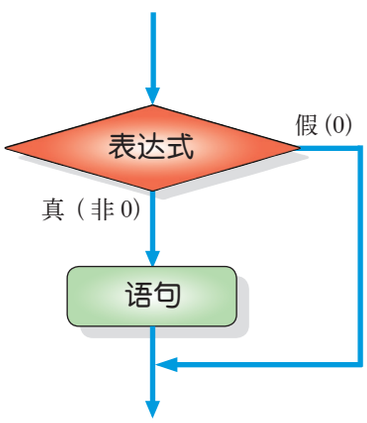


图 2.36　if 语句流程图

图 2.36 是它的语句流程，若表达式内容为真，则执行 if 后面的语句，否则，绕过该语句执行下一条程序。

第二种 if 语句格式为：

```
if（表达式）
    语句 1
else
    语句 2
```

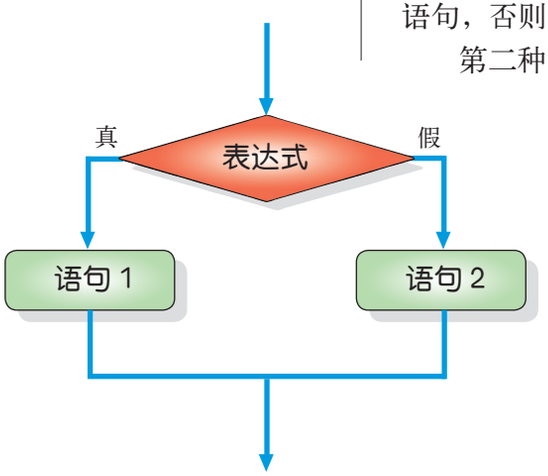


图 2.37　if-else 语句流程图

如图 2.37 所示，该 if 语句先判断表达式是否为真，若为真则执行语句 1，并绕过语句 2 继续执行；若为假，则绕过语句 1，执行语句 2。



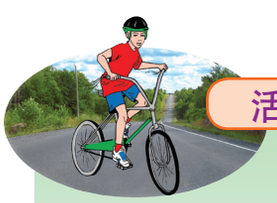
实践活动

在 ROYA C 开发环境中按程序清单 2.9 输入程序。运行该程序，比较程序清单 2.8 与程序清单 2.9 的运行结果是否相同。想一想，在什么情况下可以用 if 代替 else？在什么情况下它们之间不能互换？

微信公众号：电子课本大全

程序清单 2.9

```
1       void main (void)            // 主函数
        {
            int v1;                 // 定义整型变量
            while(1>0)              // 循环语句
5           {
            v1= SwitchI(0);         // 从通道 0 读入开关量值
            if (v1==1)              // 判断条件
            SwitchO (8, 1);         // 点亮第 1 个 LED
        else
10          SwitchO (8, 0) ;        // 熄灭第 1 个 LED
            }
        }
```



活动延伸

1. 查找有关 ANSI C 语言的教程，完成下面有关数据类型的表格：

数据类型	所占位数	数的范围
int	16	
short int		−32 768 ~ 32 767
long int	32	
unsigned int	16	
unsigned short		0 ~ 65 535
unsigned long	32	
float	32	
double		10^{-308} ~ 10^{308}

2. 当夜幕降临，城市街头的各种霓虹灯便会闪烁起来。同学们也可以利用控制器上的 LED 模仿霓虹灯闪烁。试一试用 C 语言编写下面的 LED 显示程序：

(1) 让 8 个 LED 轮流显示。

(2) 以 4 个 LED 为一组轮流显示，即对应 LED 的通道 8 到通道 11 为一组，通道 12 到通道 15 为另一组。

(3) 以 4 个 LED 为一组交叉显示，即对应 LED 的通道 8、通道 10、通道 12、通道 14 为一组，通道 9、通道 11、通道 13、通道 15 为另一组。

微信公众号：电子课本大全

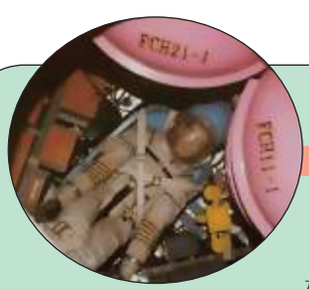
阅读材料

从机器语言到高级语言

计算机语言指用于人与计算机之间交流的语言。计算机本身无法识别与执行人类的自然语言，要达到这个目的，必须使它能够识别指令。众所周知，计算机内部采用二进制(0和1)方式存储数据和指令。在设计某一类计算机的同时，也需要为它设计一套专用的“指令系统”，即事先规定一个二进制指令对应一种操作。例如计算机接收1011011000000000指令就执行一次加法，接收1011010100000000指令执行一次减法。0和1的各种排列组合，使计算机能执行各种不同的操作。这种由0和1组成的指令，称为“机器指令”。一种计算机系统全部指令的集合称为该计算机的“机器语言”。在计算机诞生初期，人们用机器语言编写程序，难学、难记、难写，只有少数专业人员才能掌握它。

后来，出现了“汇编语言”，用一组易记的符号代表一条机器指令，如用“ADD a，b”代表a+b，用“SUB a，b”代表a−b。汇编语言与机器指令通常是一一对应的。机器语言与汇编语言在不同的计算机之间互不通用，因此被称为“低级语言”。

20世纪50年代，出现了能在各种计算机上都通用的所谓“高级语言”。它接近人们习惯使用的自然语言和数学语言，易于学习和掌握。常用的高级语言有BASIC(适合初学者应用)、FORTRAN(用于数据计算)、COBOL(用于商业管理)、PASCAL(用于教学)、C(用于编写系统软件)、Ada(用于编写大型软件)、LISP(用于人工智能)等。不同的语言有不同的特点，但都必须转换成机器语言才能被计算机执行。



本　章　小　结

机器人的一切行为都是由它的“大脑”支配的，机器人的“大脑”就是机器人控制器。简易机器人控制器的核心一般都采用单片机。

单片机是一种微处理器，内部包含有CPU、存储器和I/O口等单元。单片机的CPU是一个控制中心，它控制程序一步一步往下执行，并在这里完成各种运算。存储器存储CPU运算需要的数据，这些数据或者是程序员编程时预先设置的，或者是由I/O口输入的。存储器有程序存储器和数据存储器，程序存储器一般由Flash存储器、EPROM等非易失性存储器组成，数据存储器一般由RAM担当。单片机的I/O口是连接内部控制逻辑和外部设备之间的桥梁，I/O口在单片机中的物理反映就是单片机的引脚。引脚一般可由编程定义为输入或输出，或定义为某些特殊用途。

微信公众号：电子课本大全

机器人控制器由控制硬件和控制软件两部分组成，单片机及其外围电路构成机器人控制器的硬件部分。控制软件就是用户编制的控制程序。

简易机器人控制程序一般在专用的开发环境下编制。本章使用的是 ROYA 集成开发环境。该环境支持图形化编程和 ROYA　C 语言编程两种编程方式。同时，该软件还具有程序编译、调试、下载、模拟等功能。

图形化编程方法与编制程序流程图在思路和形式上均有相似之处，只是将每个流程节点换成适当的各种图形化模块，并相应地设置每个节点的模块属性。

ROYA　C 语言是标准 C 语言的子集，它的语法和程序结构与标准 C 语言基本相同，仅库函数有些区别。

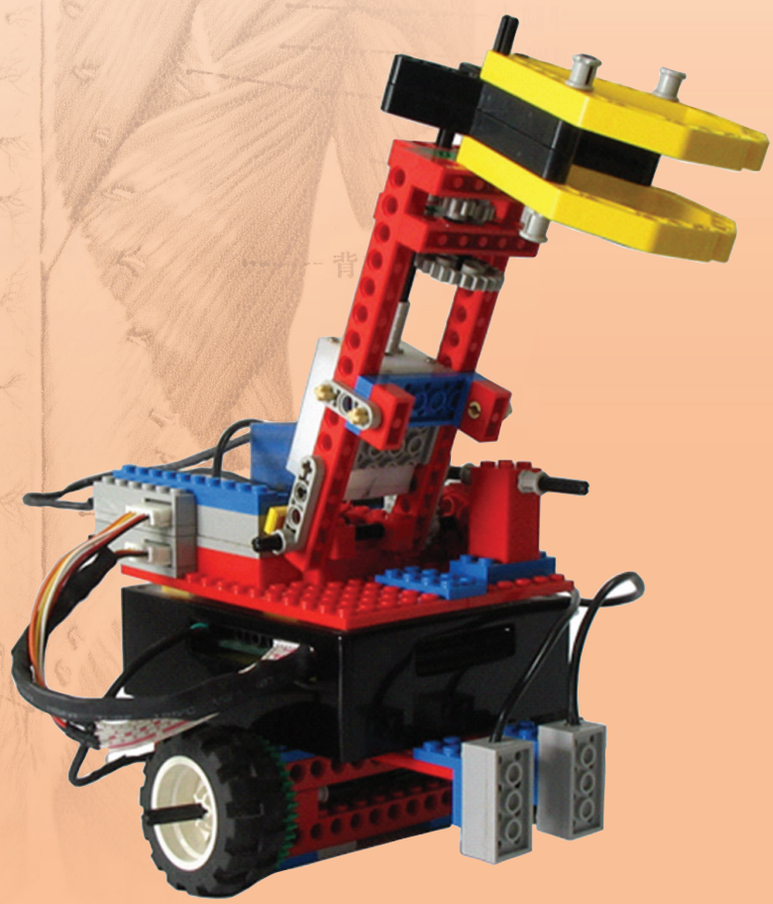


微信公众号：电子课本大全

第三章　简易机器人的控制系统

在上一章，我们介绍了简易机器人的大脑——单片机，对于机器人的控制而言，仅仅这些还不够。大脑的功能只限于思考，和人类一样，只有配备了齐全的五官和健壮的手脚，机器人才能成为一个真正意义上的智能系统。比如，在我们设计的灭火机器人中，必须有眼睛（传感器），能看到哪儿着火了；必须有脚（车轮），能快速到达火源所在地；还必须有手，能拿着灭火器具（风扇）灭火，而眼、手、脚之间的协调是靠机器人控制器来完成的。换言之，一个完整的机器人控制系统首先需要有对外部环境的感知功能，即能够向大脑输入信息，在大脑中通过识别、理解、决策等过程，然后输出指挥行动（操作）的命令，通过相当于手、脚的执行机构来实施。

本章将介绍如何围绕单片机组成简易机器人的控制系统，并从系统构成的角度，讲解输入输出部分的功能、接口和编程技术等。



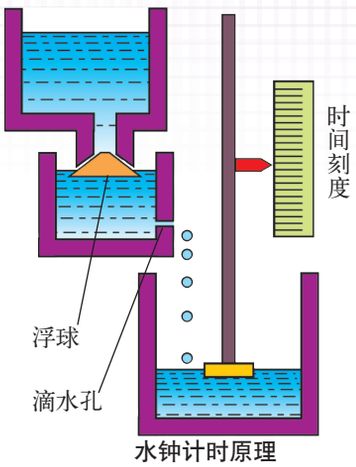
微信公众号：电子课本大全

第一节　简易机器人控制系统的组成



学习导航

1．简易机器人的控制系统由哪几部分组成?
2．简易机器人控制板是怎样与传感器连接的?
3．简易机器人是怎样与电机连接的？



水钟计时原理



现象与问题

在中东地区，人们曾将如左图所示的液面自动调节系统用于计时。这种计时系统叫水钟，曾经一直使用到17世纪。

讨论：

1．试说明水钟的工作原理。

2．说明水钟中的浮球如何通过液面反馈来自动保持计时的准确性。

一、简易机器人的控制系统

如图 3.1 所示，简易机器人控制系统包括 3 个部分，即输入部分、控制器和输出部分。控制器是系统的核心，它收集由输入部分传来的信息，经分析处理，再向输出部分发出控制命令。



探究尝试

参照图 3.1 和图 2.2，对照手上的 RoCon 控制器电路板，关掉电源，准备一块多用电表，然后找出下面所述的外围电路，并回答相关问题：

1. 查找电源电路，辨别电源的正负极，想一想给单片机供电的电压和给电机供电的电压为什么不同?

2. 分辨电路板上的传感器输入接口，为什么每个传感器都使用了 3 根引线?

3. 分析电路板上的输出元件有哪些，并找出与其对应的电路。

4. 电路板上与 PC 机的通信接口电路有几个？请找出对应的接口，说出这些接口电

微信公众号：电子课本大全

路各自有什么作用。

5. 找出电路板上启动、停止等按钮开关。为什么不用电源开关来控制机器人的启停，而另外使用专门的启动、停止开关？

6. 软件也是控制系统的重要组成部分。思考一下：控制器的单片机中应有哪些程序？它们分别有什么作用？

通过探究，同学们会发现简易机器人的控制系统并不简单，正所谓“麻雀虽小，五脏俱全”。不同的机器人，控制系统也不尽相同，但基本原理大同小异。下面，我们先以控制器 RoCon 为例，具体介绍其外围电路的组成和作用。控制系统的输入输出部分将在第二节、第三节中详细说明。

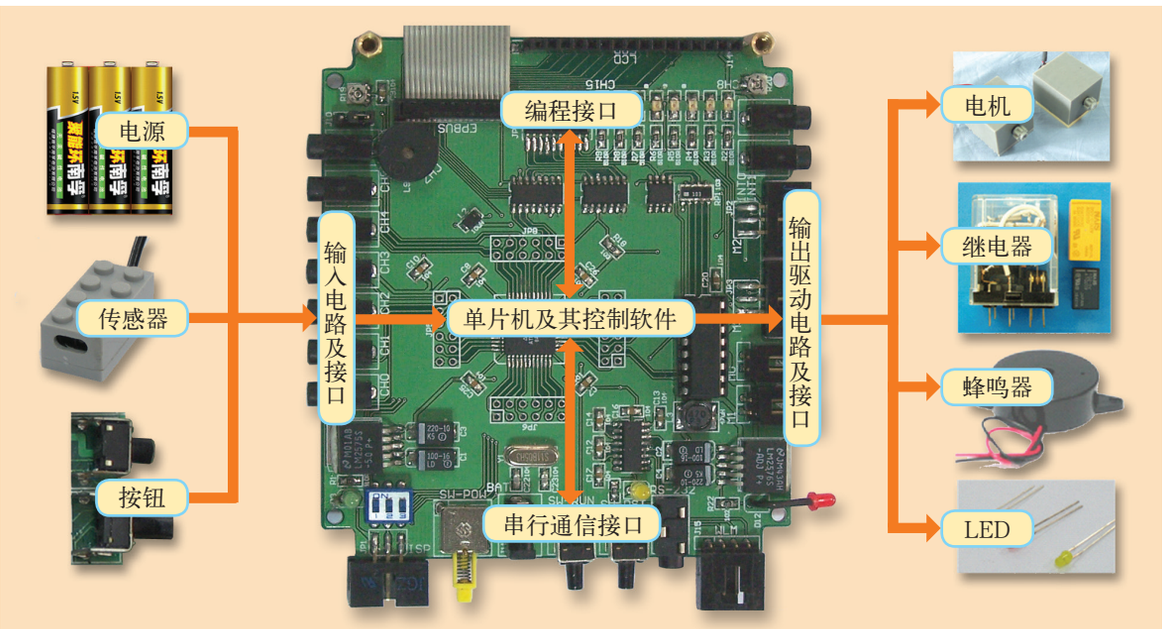


图 3.1　简易机器人控制系统的组成

二、控制器 RoCon 接口电路

1. 电源

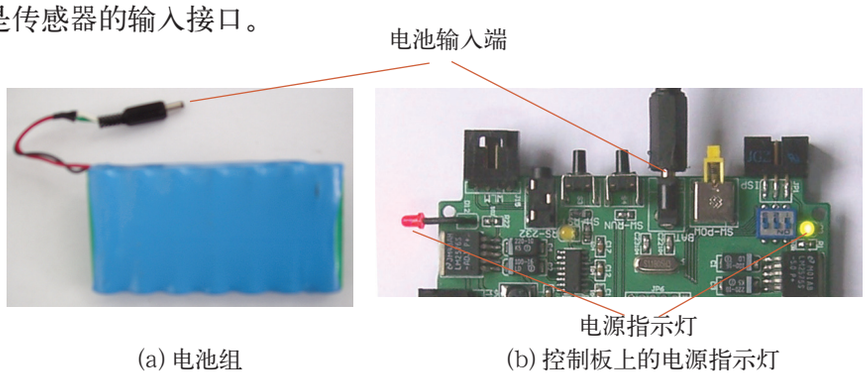
简易机器人一般靠电池组供电，如图 3.2(a) 所示。接通电源总开关后，整个控制系统上电，稳压电路送出 +7.5 V（电机电源）、+5 V（控制电路电源）两路稳压电源，分别由电路板上的红色和绿色电源指示灯显示，如图 3.2(b) 所示。稳压电路的作用是将电池电压调整到电机和控制电路所需的额定电压并使之稳定，这样机器人的运动不易受到负载变化的影响。

2. 输入接口

控制电路板的输入接口有两种类型：一类用于机器人启动、停止

微信公众号：电子课本大全

按钮，另一类是传感器的输入接口。



(a) 电池组　　(b) 控制板上的电源指示灯

图 3.2　简易机器人的电源

如果用户程序已经被固化在单片机中，那么一旦按下启动按钮，机器人便按照用户程序开始运转。停止按钮的作用是使程序终止执行。这两种按钮开关的输入电路相同，只是对应的单片机输入引脚不同，如图 3.3 所示。

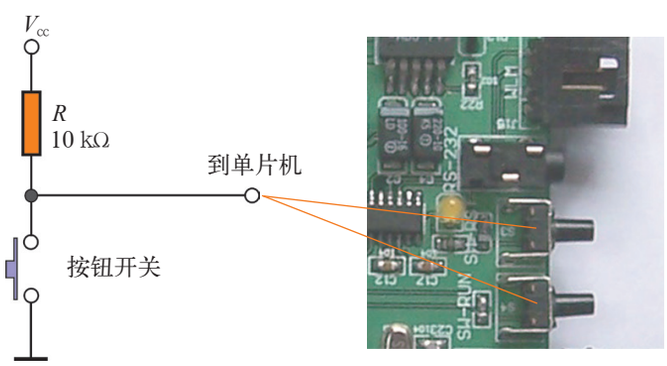


图 3.3　启动、停止按钮输入接口



探究尝试

1. 图 3.3 的电路中，电阻 R 的作用是什么？

2. 电路板上启动和停止按钮的信号分别接到单片机的哪个引脚？

控制电路板上有 7 个传感器输入接口，即可以同时连接 7 个传感器，它们采用统一的三线制接口方式，图 3.4 为接口原理图，每个传感器输入插头的引脚 1、3 接电源，引脚 2 是信号输入端，直接连接到单片机的 I／O 引脚。在图 3.4 所示的电路板上，下面一排传感器输入接口的编号按从右至左的顺序为通道 0 到通道 6。传感器输入信号既可是数字量，又可是模拟量（0 ～ 5 V），由用户编程定义。

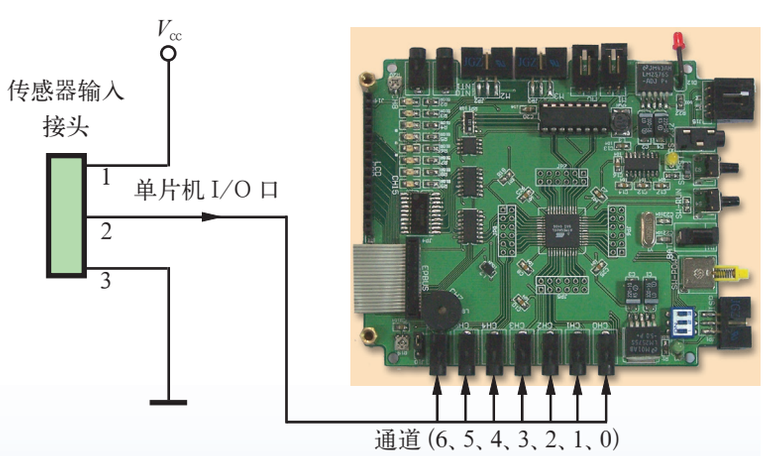


图 3.4　传感器输入接口

3. 输出接口

输出接口是控制器与输出元器件之间的桥梁。

简易机器人控制系统常涉及的输出元器件有：LED、蜂鸣器、继电器、非调速直流电机和调速直流电机等，下面简要说明它们的使用方法。

微信公众号：电子课本大全

LED 的驱动电流通常都很小（10 mA 左右），可以由单片机的 I/O 口直接驱动。蜂鸣器所需的驱动电流较大，一般不用 I/O 口直接驱动，要借助一个功率三极管来提供驱动电流。LED、蜂鸣器与单片机的接口方式如图 3.5 所示。

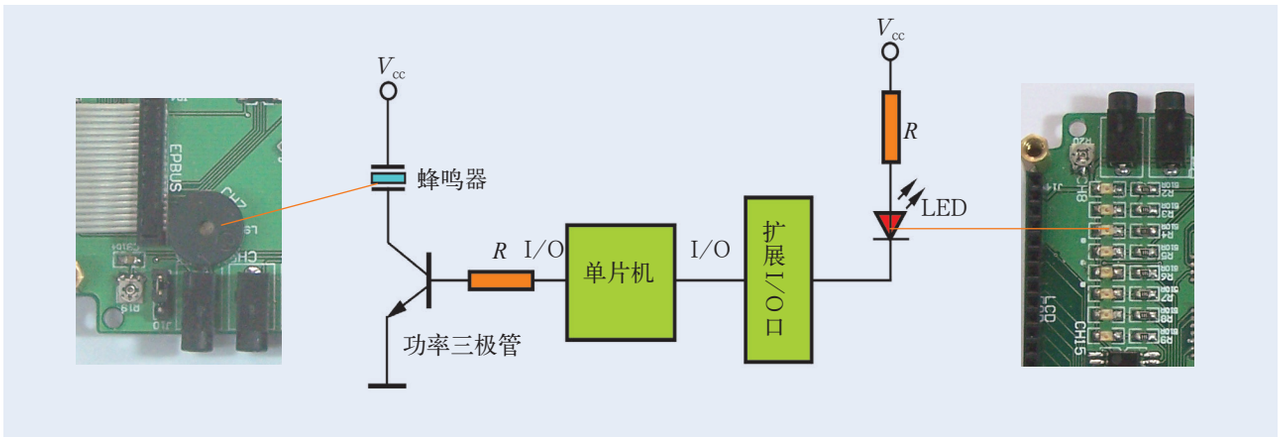


图 3.5　控制板上的 LED、蜂鸣器

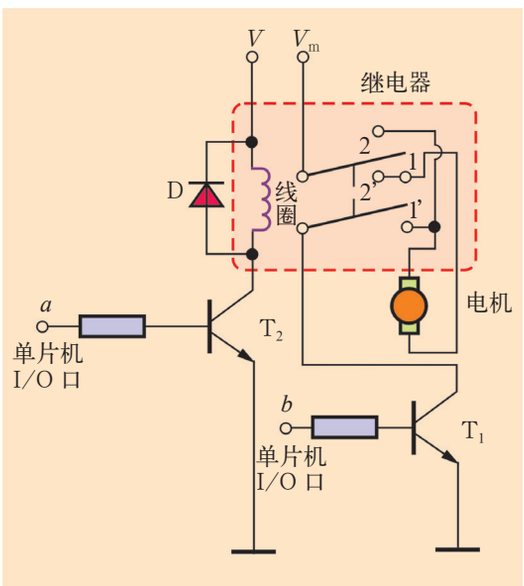


图 3.6　非调速直流电机控制原理



图 3.7　754410 PWM 集成功率放大芯片

根据第一章设定的作业任务，简易机器人控制器至少需要驱动 4 个直流电机，其中两个的任务是驱动执行机构动作（如升降灭火高台、转动风扇、张合手爪等），转速可固定，但应能改变转向，这比较容易实现。另外两个的任务是驱动车轮，既要求调速又要求可以改变转向。这两种要求就分别对应着直流电机的两类驱动电路，图 3.6 是非调速电机的驱动原理，这个电路既能控制电机启、停，又能改变电机的转向。该电路的基本思想是用一个双刀双掷继电器来控制电机的方向，用一个功率三极管 T_1 来控制电机启停。

要达到调节电机速度的目的，最方便的办法是采用 PWM 电路专用驱动器件，例如用一片 754410 PWM 集成功率放大芯片（图 3.7）可以同时控制两个直流电机，驱动机器人的左右车轮。PWM 是调节电机速度的一种方法，在本章第三节中将详细介绍。

4．通信及编程接口

在 PC 机上经过编制、编译的控制程序可经由串行口下载到单片机中。PC 机的并行口也用作下载通道。RoCon 的控制电路板上同时备有这两种下载程序的接口，这是 RoCon 控制器的优点之一。RoCon 中已经设计了接口电平转换电路（图 3.8），故 ROYA 开发环境可以方便地实现一线下载。注意，两种下载方式用户只能选择其中的一种，推荐使用串行口下载方式。

微信公众号：电子课本大全

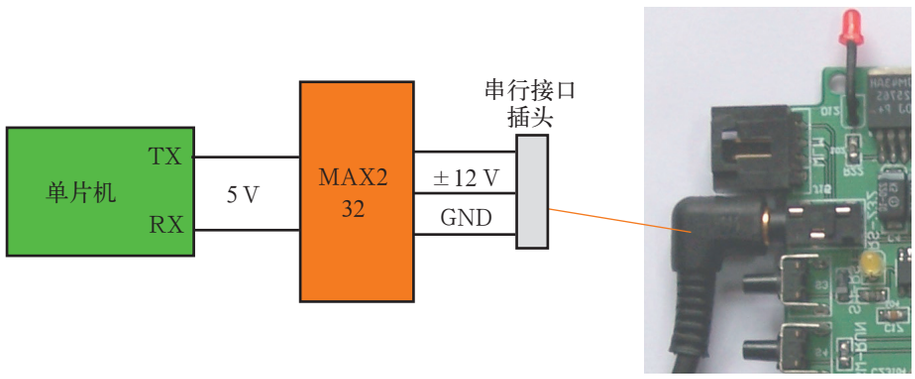


图 3.8　控制电路板上的串行接口



探究尝试

1. 图 3.6 中三极管 T_2 的作用是什么？V 和 V_m 有何区别？

2. 图 3.6 中，如果继电器中的电感线圈有电流流过时双刀掷向上位，而且当电流从上到下流过电机时电机逆时针转动，请探讨单片机 I/O 口的 a 和 b 分别为高电平 (1) 和低电平 (0) 时电机的状态，并完成下表。

单片机 I/O 口电平		电机状态（转向）
a	b	



活动延伸

在因特网上寻找 754410PWM 驱动器的资料，了解该芯片的引脚功能和工作原理。

微信公众号：电子课本大全

第二节　简易机器人常用传感器

学习导航

1．什么是传感器？
2．简易机器人上有哪些常用的传感器？其工作原理是什么？
3．如何根据需要选择合适的传感器？



现象与问题



我们都坐过出租车，上车时，如果没关好车门，司机会提醒你；下车时，计价器会显示行驶了多少千米，该付多少车费。

讨论：

1．司机怎么知道车门没关好？

2．计价器的千米数是怎样得来的？

人类通过五官，即看、听、嗅、味、触来获取外界信息。类似地，机器人只有具备了感知能力，才能够像智能生物一样根据环境的变化做出相应的反应和动作，成为名副其实的机器人。没有感觉的机器人仅是一台机械设备，只能机械地执行预先设定好的动作。

机器人获取外部环境信息靠的是传感器。传感器是一种电子器件，它具有类似于人类五官的感觉功能，将外部环境信息转换成电信号，其基本组成如图 3.9 所示。



图 3.9　传感器的组成

除了人的五官感觉功能之外，传感器还能感知流量、加速度、扭矩等物理量。我们身边的摄像机、电视机、打印机、自动售货机、报警器等日常用品中，都有传感器的踪影。路面上奔驰的汽车，更有多

微信公众号：电子课本大全

达几十种传感器来保证驾驶的综合效率。可以说，传感器及检测技术的水平已经成为一个国家科技实力的重要标志之一。

图 3.10 是传感器在拟人机器人中应用的实例，有加速度传感器、温度传感器、测距传感器、力传感器、触觉传感器等。

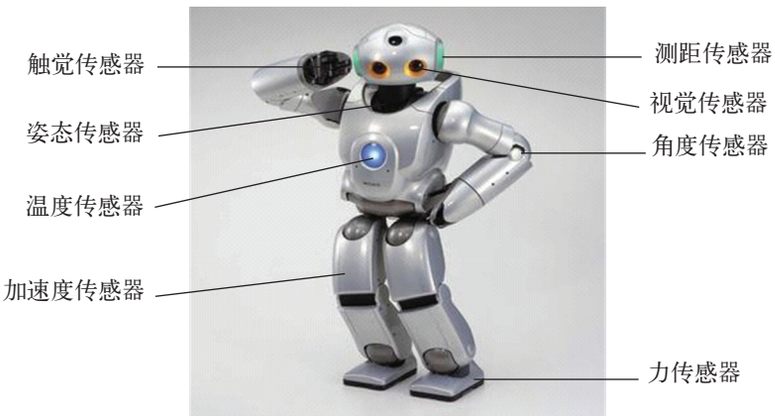


图 3.10　拟人机器人上的传感器



小 资 料

传感器的分类

传感器的种类很多，它们是怎么分类的呢？通常有表 3.1 所示的几种分类方法。

表 3.1　传感器的分类方法

分类方法	分类内容
按被测物理量分类	如加速度传感器、速度传感器、位移传感器、压力传感器、扭矩传感器、温度传感器、湿度传感器等。此分类方法有利于用户和厂家，一目了然
按工作原理分类	分为物理型、化学型及生物型 3 类。再细分还可分为电阻应变式、压电式、电磁式、光电式、电化学式等。此分类方法有利于专业工作者分析研究
按能量传递方式分类	分成有源、无源两类。有源传感器相当一台微型发电机，将非电功率转换为电功率，起能量转换作用；无源传感器不能实现能量转换，被测非电量仅对传感器能量起控制或调节作用
按输出信号性质分类	有开关量、模拟量和数字量 3 种。开关量传感器的输出只有接通和关闭两种状态



探究尝试

对号入座

查阅有关资料，找出功能与人类五官类似的传感器，填入表 3.2 中；另外，还有一些五官感觉以外的传感器，请把这类传感器的用例填入表 3.3 中。

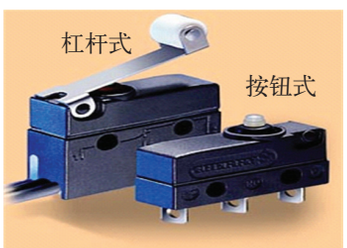
微信公众号：电子课本大全

表 3.2　人的五官感觉与各种传感器的对应关系

感觉	传感器用例
视觉（眼）	
听觉（耳）	
嗅觉（鼻）	
味觉（舌）	
触觉（皮肤）	

表 3.3　五官感觉以外的传感器

检测量	传感器用例
红外线	
超声波	
磁性	
速度、加速度	



(a)



(b)

图 3.11　微型开关

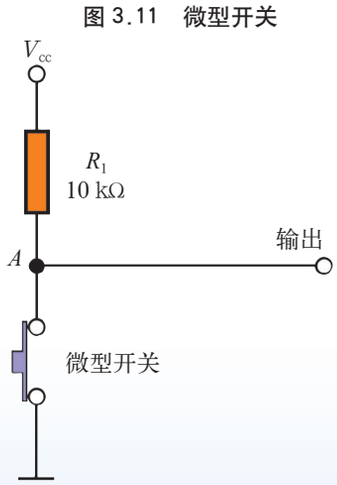


图 3.12　接触传感器电路

传感器也是简易机器人必不可少的元器件。下面将重点介绍 4 种简易机器人常用的传感器：接触传感器、光敏传感器、光电判读器、红外测障传感器。

一、接触传感器

接触传感器属于开关量传感器，在简易机器人中，它的应用场合一般有如下几种：

（1）判断接触：检查机器人是否与其他物体发生接触，如撞到墙壁或手爪抓握到物体。

（2）行程开关：检测相对运动部件是否到达行程终点。

（3）机械式编码器：设法在转轴上安装一个触发装置，转轴每旋转一周，接触开关被触发一次。软件将触发次数和相应时间记录下来，便可知道轴旋转的圈数以及相应的平均速度。

简易机器人的接触传感器大多数采用微型开关来制作。图 3.11(a) 给出杠杆式开关和按钮式微动开关，图 3.11(b) 是鼠标上左右按键下的按钮开关。

接触传感器的电路原理如图 3.12 所示。当微型开关未被按下时，A 点的电压为 V_{cc}（5 V），微型开关被按下后，A 点接地，其电压变为 0 V，将 A 点的电压引到单片机的 I/O 引脚上，并读取引脚电压。若为高电平（5 V）则说明开关没有被按下，接触尚未发生；反之，则为低电平（0 V），说明发生了接触。

在简易机器人中，接触传感器封装成如图 3.13 中所示的易拼装形式。下面介绍一下实验，以便同学们获得一些接触传感器应用的感性认识。

微信公众号：电子课本大全



实践活动

对接触传感器有了初步的认识后，下面通过编程用接触传感器控制电机的启停。参照图 3.13 将接触传感器正确地连接到机器人小车的控制器上。活动要求当按下接触传感器触头时，电机带动车轮转动，松开则电机停止。控制程序流程图如图 3.14 所示，在 ROYA 开发环境中得到的图形化语言程序如图 3.15 所示。图 3.15 中，有“电机”控制模块，在编辑区中右击该模块，会弹出它的属性设置对话框，用来设置电机的转向和速度，如图 3.16 所示。在对话框内的电机选择栏中选择“电机 0”；在“电机设置”栏中选中“改变原来状态”，然后设置电机速度。电机速度分成 100 级，100 代表最大速度。速度值有正负之分，分别代表正反转，如在“使用常数”栏中设置的速度值为“−80”，表示电机以全速的 80% 反转。

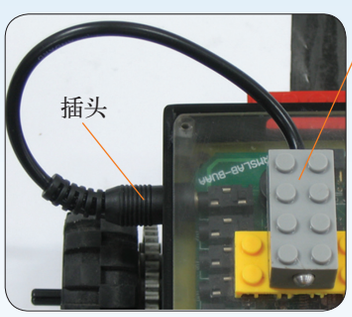


图 3.13　接触传感器及其与控制器接插方式

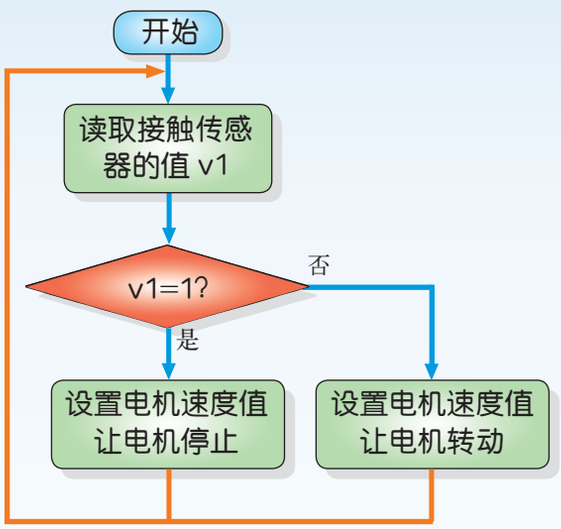


图 3.14　接触传感器控制电机流程

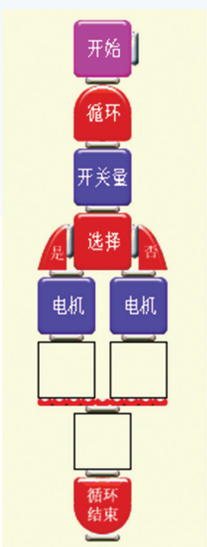


图 3.15　图形化语言程序

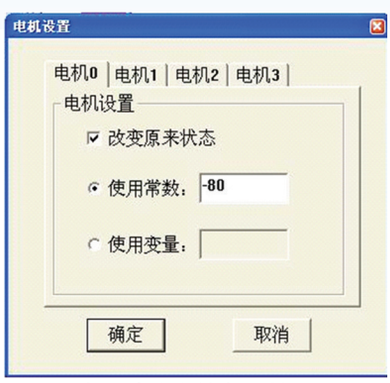


图 3.16　电机速度和转向属性设置对话框

编译上述程序，并把它下载到机器人控制器中运行。按照要求操作接触传感器，验证程序能否按照预想逻辑运行。

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

1. 在接触传感器电路中，电阻 R_1 起什么作用？其阻值对电路工作有影响吗？

2. 在程序中为“电机 0”设置不同的速度值，观察车轮转向和速度的变化。试探讨控制器是通过调节电机的哪个物理量改变其速度和转向的。

3. 如果让机器人小车在接触传感器松开时前进，按下时后退，应如何编程？

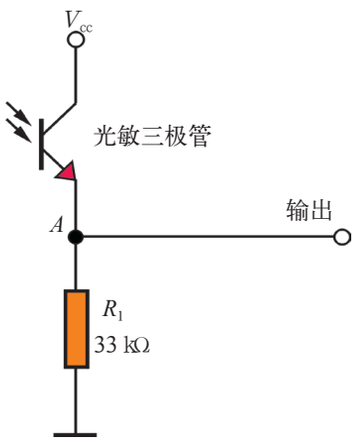


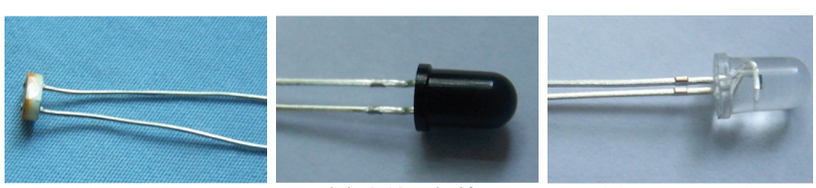
图 3.18　光敏传感器电路图

二、光敏传感器

光敏传感器能感知一定范围内的环境光线强度，其输出为模拟量。

从图 3.9 我们已经知道了传感器中敏感元件的重要作用。因此，在讨论光敏传感器之前，有必要先来讨论一下光敏元器件。常见的光敏元器件有光敏电阻、光敏二极管和光敏三极管（图 3.17）。光敏电阻的特点是阻值随着环境光线的增强而变小。而光敏二极管的电流大小与环境光线的强度成正比，不过这个电流极微小，因此应用时，必须将其放大。至于光敏三极管，集电极和发射极之间的电流大小也与环境光的强度成正比，但电流较大。

上述 3 种元器件中，光敏电阻的反应速度最慢，而且往往容易将环境光与特定光源（如蜡烛）混淆，相对来说，光敏三极管的抗干扰能力要强一些，其电流又较大，因此，对简易机器人而言，光敏三极管更适合用于寻找光源。如果传感器的状态调节得当，那么在寻找蜡烛火苗时，可能不需要暗室，甚至在一般室内采光环境下都能够成功。



(a) 光敏电阻　(b) 光敏二极管　(c) 光敏三极管

图 3.17　光敏元器件举例

光敏传感器的电路原理如图 3.18 所示，照在光敏三极管上的光越强，流过它的电流也越大，由欧姆定律可知，A 点的电压也越高。所以只需要将 A 点的电压引到单片机的 ADC 引脚上，测量电压的高低，便可知光线的强弱。由此可见，虽然光敏传感器输出模拟量，但是在单片机内部经 ADC 转换后，模拟量变成数字量。同学们可以把这个数字量与一个预设的门限值进行比较，就可确定光源的方向。

图 3.19 是简易机器人寻找蜡烛光源的实验场景，右上角是光敏传感器，一般位于机器人的前部，它的数量和位置对于寻光的效能和方法都有影响，通常两个就够了，也封装为易拼装形式。为了弱化环境光对传感器的影响，可以给光敏三极管加装一个黑色塑料管套。寻光控制流程的基本思想如图 3.20 所示。启动控制程序后，机器人就沿设定方向低速自转，单片机不断地读取两个传感器的值，其间，只要一个传感器的返回值较大（比如 50），说明机器人已经发现光源，于是停止自转，改为前进，继续读取两个传感器的值并加以比较。此时如果左侧传感器的值较大，说明机器人行进的方向偏右，应降低左侧轮子的速度，反之应降低右侧轮子的速度，如此便能到达蜡烛所在处。

微信公众号：电子课本大全

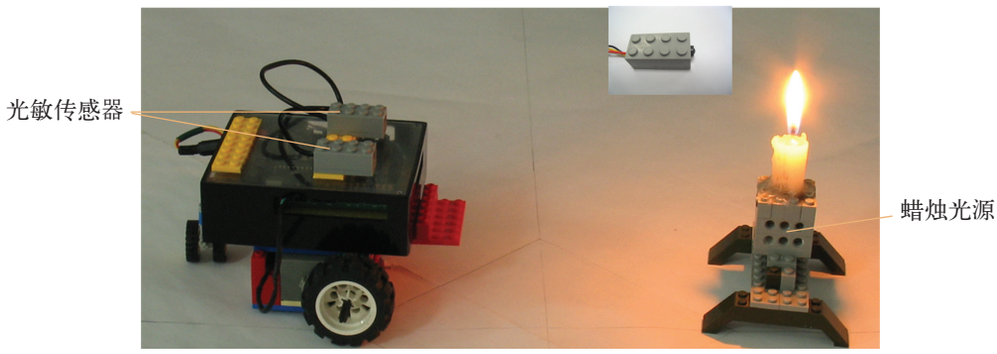


图 3.19　机器人利用光敏传感器寻光



探究尝试

1. 光敏传感器在机器人上可以有哪些用途？

2. 我们可以把检测到的光线强度用电路板上的 8 个 LED 表示出来，检测到的光线越强，LED 点亮的个数越多。同学们试一试，编制程序并完成这个实验。



实践活动

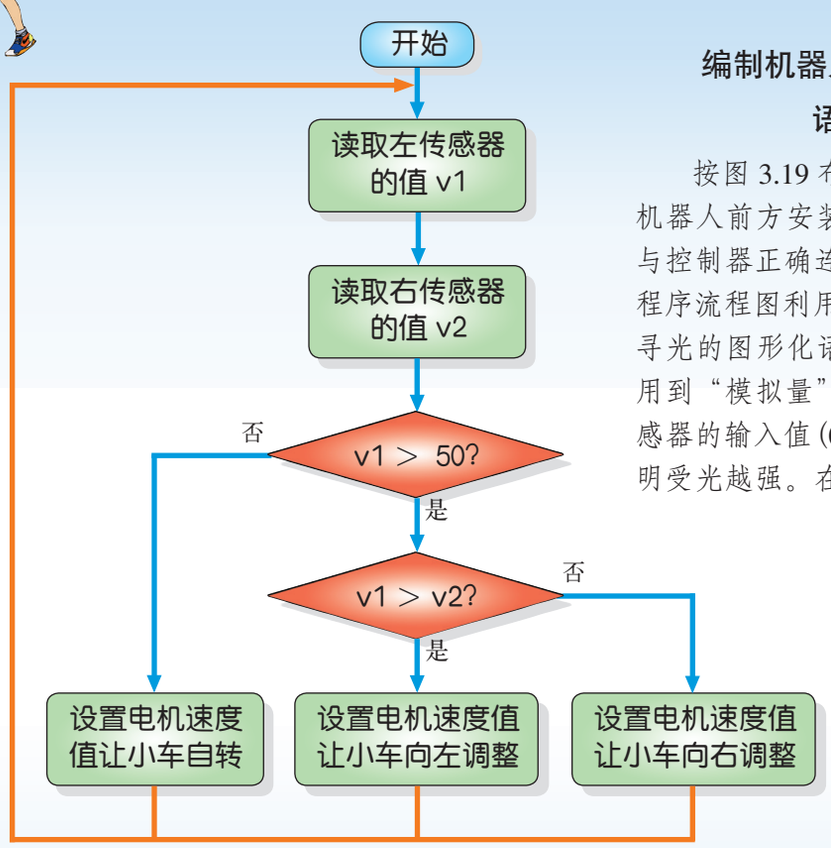


图 3.20　寻光程序流程图

编制机器人寻光的图形化语言程序

按图 3.19 布置实验场地，在简易机器人前方安装两个光敏传感器，并与控制器正确连接。然后按图 3.20 的程序流程图利用 ROYA 开发环境编制寻光的图形化语言程序。该程序需要用到“模拟量”控制模块读取光敏传感器的输入值 (0 ~ 255)，值越大，说明受光越强。在图 3.21 的“模拟量”控制模块属性设置对话框中，选择相应的通道号，并将传感器的读入值分别存入变量 v1、v2，于是通过比较两个变量值就可确定光源的方向。

微信公众号：电子课本大全

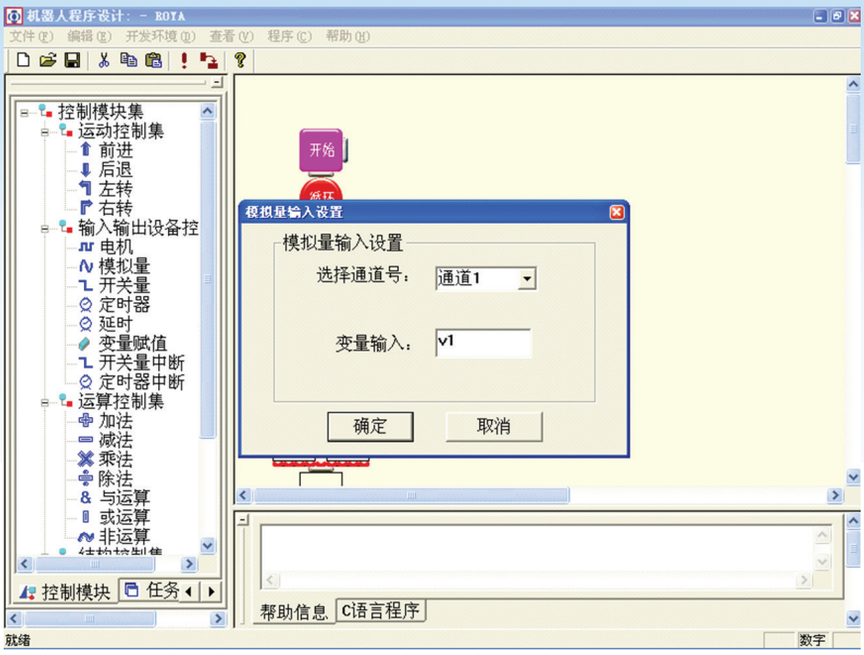


图 3.21　模拟量控制模块的属性设置

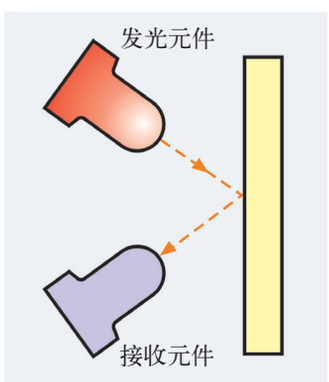


图 3.22　光电判读器原理

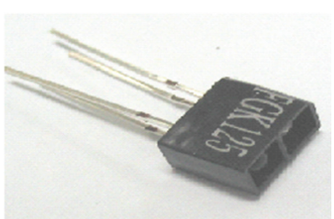


图 3.23　一体化光电器件 FGK125

三、光电判读器

光电判读器分为对射式和反射式两种，其中反射式光电判读器是简易机器人最常用的一种有源传感器。在这里我们重点对其进行介绍，本书中凡未加说明的光电判读器均指反射式。光电判读器的典型用途如下：

(1) 探测物体：光电判读器可检测探测范围内是否存在障碍物。此外，从读取的值还能估计物体与传感器之间的距离。当然，该值取决于多种因素，如物体的反射率等。一个距离较远但反射率很高的物体所返回的信号值可能与距离稍近但反射率较低的物体的信号值相差无几。

(2) 检测表面特征：光电判读器很适宜检测物体表面的颜色、胶带贴层或其他标记特征。对于简易机器人而言，光电判读器的典型用途是用来识别黑白颜色，例如识别白纸上的黑线，此时它也可称为光电巡线传感器。

(3) 墙面跟踪：墙面是连续的障碍物，如果传感器能测量距离，就能让机器人与墙面保持一定距离行进，跟踪墙面。

为了降低可见光造成的影响，光电判读器一般使用红外线。光电判读器输出分为开关量和模拟量两种类型，本节仅介绍前者。它的原理是根据反射光的强弱，切换开关状态。如图 3.22 所示，发光元件发出红外线，接收元件检测反射光。当红外线照射到白色物体时，反射较强烈，照射到黑色物体时，反射较微弱，由此产生开关动作。

微信公众号：电子课本大全

光电判读器的工作距离有限，如果反射物较远，即使是白色物体，传感器接收的反射光也会较弱，导致无法识别出白色。图 3.23 中的 FGK125 是将发光管和光敏三极管封装在一起的一体化光电器件，由于两者的波长较为匹配，因此敏感度较高，工作距离可达 3 cm。当然，增大发光管功率，工作距离也会相应增大。一般来说，光电判读器的工作距离较近。



探究尝试

在第一章我们已经观察了机器人小车沿黑色引导线前进的表演，机器人上用到了两个光电判读器，它们对应黑线和白色场地的读取值分别为“1”和“0”。请问，左右传感器共有几种状态组合？它们分别对应机器人什么状态（与黑线的关系）？完成表 3.4。

表 3.4　机器人与传感器状态对应关系

传感器状态		机器人状态
左	右	



新视窗 · 知识外延

对射式光电判读器

对射式光电判读器的发光元件和接收元件是相对放置的（图 3.24），两者中间有一个空隙，根据空隙间是否有障碍遮挡，输出不同的电平。

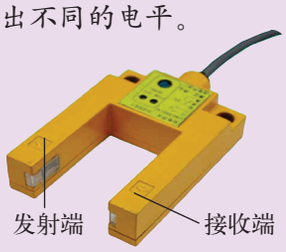


图 3.24　对射式光电判读器





实践活动

机器人小车巡线编程

下面我们自己动手给第一章中搭建的巡线小车编制程序，让它沿图 1.18 的路线完成巡线动作。

通过上面的探究尝试，我们知道机器人的左右传感器有 4 种状态组合，所以在编制巡线流程时只需设计与这 4 种状态对应的电机控制分支，便可以让小车沿引导黑线前进。程序流程如图 3.25 所示。

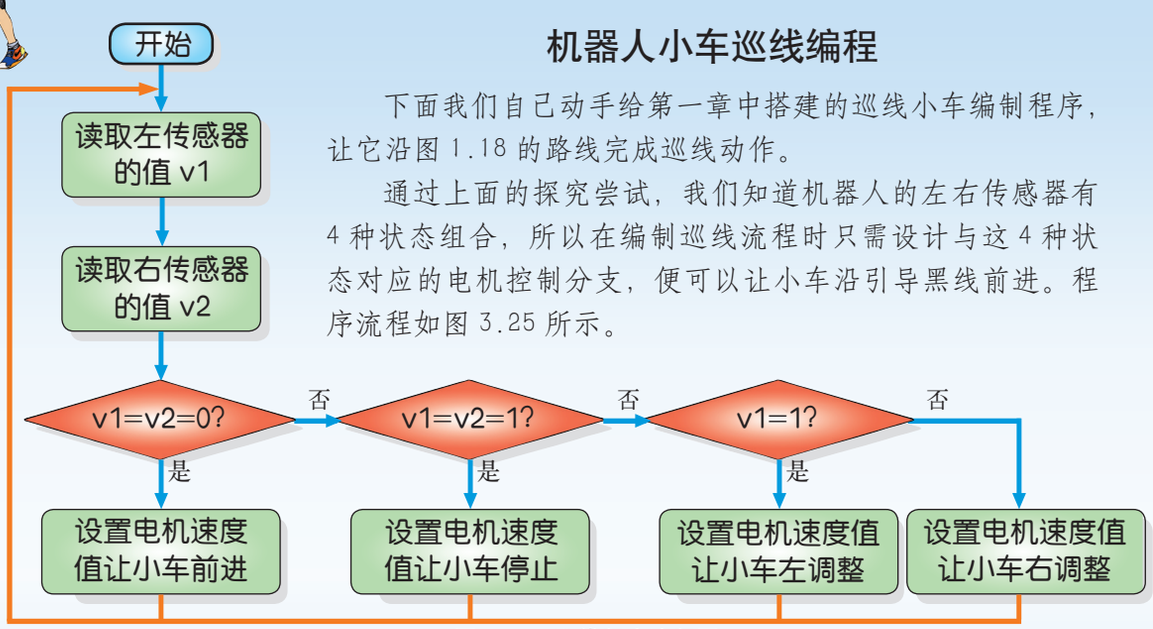


图 3.25　巡线程序流程图

微信公众号：电子课本大全

四、红外测障传感器

红外测障传感器也是借助红外线的发射与接收来工作的，不过它的红外线通常经过调制和解调处理，因此有效工作距离要远得多，通常都在 10 cm 以上，而且抗干扰能力更强。红外测障传感器属于非接触式，更适合机器人避障。

简易机器人用的红外测障传感器可以由一对电视遥控器中使用的红外收发元件来制作，如图 3.26 所示。这样做的优点是它的接收元件和放大电路的性能更优良，灵敏度更高，故有效测障距离可达 1 m 以上。这种传感器需要配备另外的信号处理电路方能与单片机接口。图 3.27 已经将信号处理和传感器集成于一个模块，这样在简易机器人上用起来更方便。

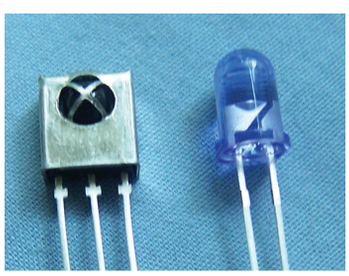


图 3.26　红外发射接收元件

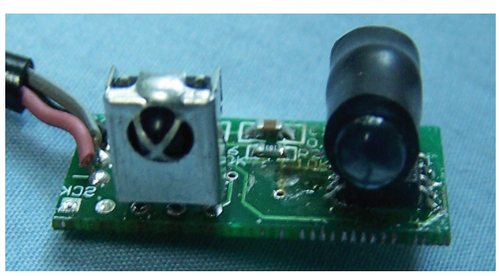


图 3.27　红外测障传感器模块



实践活动

红外测障传感器避障演示

在简易机器人小车正前方安置一个红外测障传感器。让机器人朝前面运动。若检测到障碍，先让机器人后退，然后掉转方向继续前进。

这种传感器的输出为开关量，检测到障碍时输出为低电平，否则为高电平，程序上只需检测传感器的状态并做相应的处理即可。

按照图 3.28 的流程图编写程序，编译后下载到小车上，将不同的物体放在小车前方，观察小车的反应。

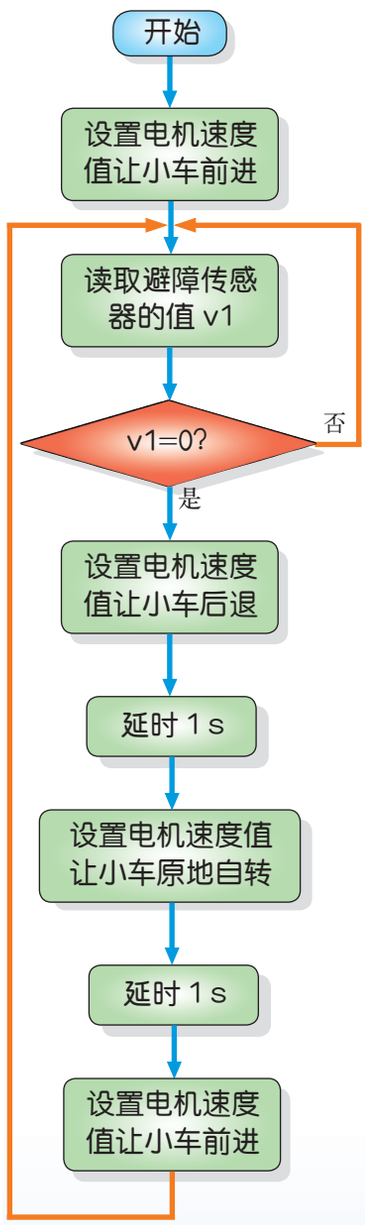


图 3.28　小车避障程序流程图

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

1. 用光敏传感器控制 LED：想一想，是否可以用光敏传感器自动控制路灯，天黑后路灯点亮，天亮后路灯熄灭？试编制一个程序，让光敏传感器控制简易机器人控制电路板上的 LED（模拟路灯），环境光强，LED 熄灭，环境光弱，LED 点亮。

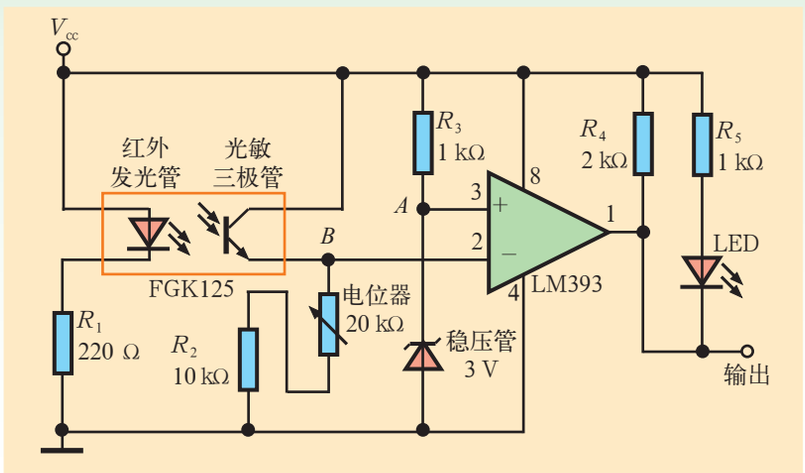


图 3.29　光电判读器电路

2. 制作简易光电判读器：按图 3.29 所示的电路原理图，购买元器件，把它们在实验电路板上连接好（图 3.30），一个简易的光电判读器就做好了。接上电源，用白纸来回遮挡传感器前方，观察 LED 的反应。

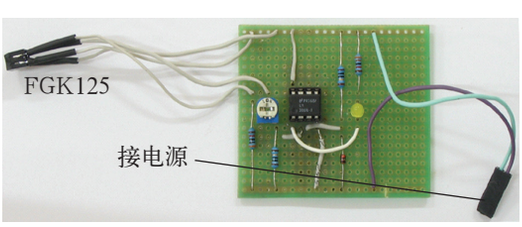


图 3.30　自制光电判读器

阅读材料

电视的红外遥控器

电视遥控器在我们的生活中最常见不过了，同学们有没有想过它是怎么实现遥控功能的？

电视机的遥控系统主要是由红外发射和接收模块组成。遥控器控制红外发光元件发光，而红外接收模块（装在电视机内部）则接收和解释来自遥控器的信息。红外光的波长在 940 nm 左右，处于视觉范围之外，所以人们无法觉察到它。红外接收模块由接收二极管、电压控制电路、带通滤波电路、解调电路等组成，它只对闪烁频率约 40 kHz 的红外光起反应，对应于该闪烁频率红外光的有无，其输出分别为高电平和低电平，这种现象被称为“低电平激活”（图 3.31）。

微信公众号：电子课本大全

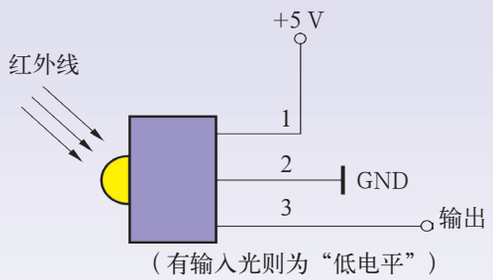


图 3.31　接收电路

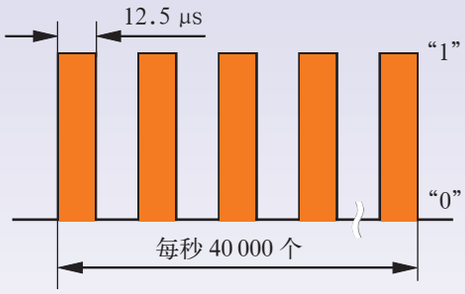


图 3.32　闪烁频率为 40 kHz 的红外线

红外收发模块通信时，必须将红外线调制成图 3.32 所示的闪烁频率为 40 kHz 的方波形式，即 1 s 内断续地发送红外线 4 万次，这种方式被称为脉冲周期调制(PPM)。由此不难得知，1 个方波的周期为 25 μs。

按事先约定的通信协议，向接收模块传递信息“1”时，红外发射 LED 应持续闪亮 600 μs，发送图 3.33 的脉冲序列。传递信息“0”时，LED 关闭 600 μs。图 3.33 表示了向接收模块传递信息“101”的实例。

综上所述，在遥控器一侧，只需根据按键来确定要发送的信息，控制 LED 的点亮和熄灭；而接收模块一侧，按照 600 μs 的间隔读取输出信号，便可以得知所欲传递的信息，进而实现遥控功能。

几乎所有家用电器遥控器的原理都与此类似，甚至无线电遥控器在原理上也有相似的地方，所以同学们只要掌握了这一种，其他的遥控器就不再那么神秘了。

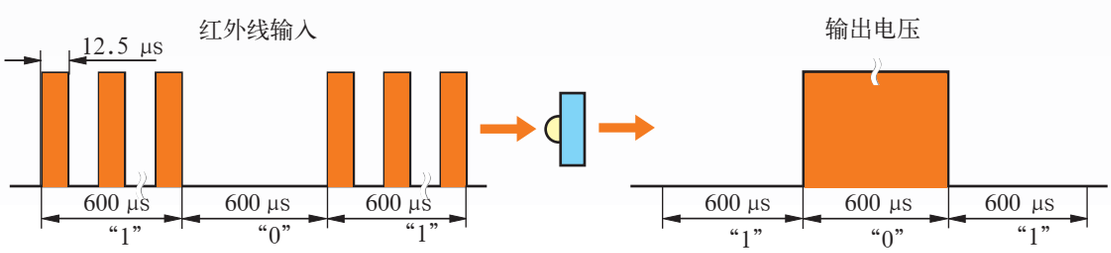


图 3.33　红外通信实例

微信公众号：电子课本大全

第三节　简易机器人常用输出元件



学习导航

1．简易机器人上常用的输出元件有几种？它们与控制器是怎样连接的？

2．如何根据需要选择合适的输出元件？



现象与问题



电灯给我们带来了光明；电视带来了五彩缤纷的视觉享受；微波炉送来了可口的佳肴。电灯、电视、微波炉都是电能转换设备，输入是电能，输出是光、图像、声音和热。

讨论：

1．你还能举出利用电能的设备或工具吗？

2．你能说出上述设备的工作原理吗？

人类利用嘴来发声和交流，通过面部表情表达喜怒哀乐，借助腿和脚行走，仰仗手执行各种操作。在机器人身上我们也能找到与人类这些输出器官对应的部分。如机器人的嘴，就是能发出声音的蜂鸣器、喇叭；机器人的表情靠各色二极管、彩灯、显示器刻画出来；机器人的手和脚就是它的执行机构。本节将讲解机器人常用输出元件的原理和使用方法。

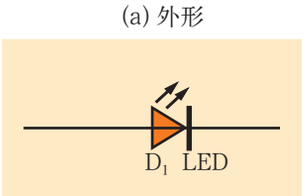
一、发光二极管

发光二极管（LED）是很常用的显示器件，手机的信号显示灯、PC 机硬盘及光驱的指示灯等都是例子。简易机器人控制电路板上有若干个发光二极管，用来显示各种工作状态。

二极管是一种半导体器件，根据施加电压的极性，产生导通和不导通两种效果。二极管由 n 型半导体（半导体中的电子携带电荷流动）和 p 型半导体（电子迁移所剩空穴携带电荷流动）结合而成，结合面被称为 pn 结。LED 是二极管的一种，其原理是在 pn 结让电子与空穴再次结合，此时产生的能量以发光的形式释放出来。并非所有的二



(a) 外形



(b) 符号

图 3.34　LED 的外形及符号

微信公众号：电子课本大全

极管都会发光，只有含有钾 - 砷、铟、磷等材料的半导体能够发光，而含有硅、锗等材料的半导体并不会发光。图 3.34 为 LED 的外形及符号。

为了限制 LED 中电流的大小，LED 一般要与电阻串联使用，如图 3.35 所示。这种 LED 电路可以直接与单片机连接，如图 3.36 所示。

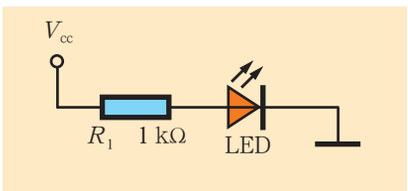


图 3.35　LED 的使用方法

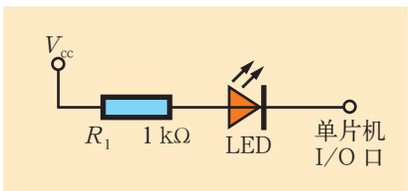
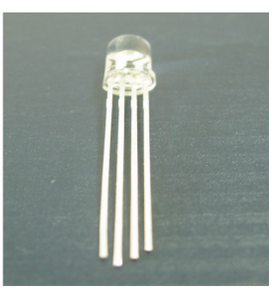


图 3.36　LED 与单片机接口电路

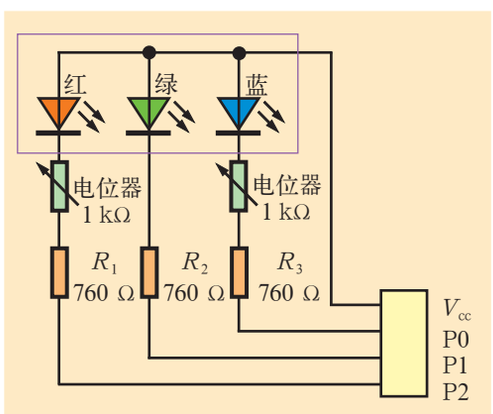


探究尝试

发光二极管发出的光有单色的，也有全色的，图 3.37 是全色 LED 的外形和控制电路原理图。你能说出全色 LED 为什么能发出七色光吗？如果想用 RoCon 控制电路板控制全色 LED 发光，想一想应该如何连接和编程？



(a) 外形



(b) 控制电路原理

图 3.37　全色 LED

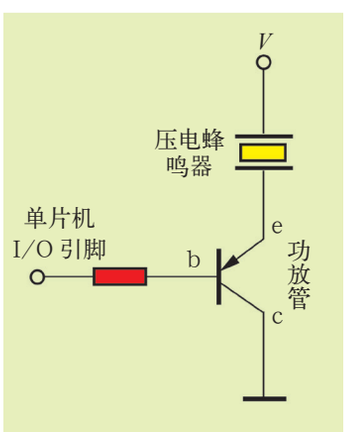


图 3.39　压电蜂鸣器的驱动电路

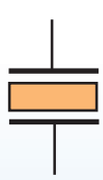
二、蜂鸣器

简易机器人使用蜂鸣器发出声音。对发声器件进行编程，我们就可以凭声音来判断机器人工作是否正常，有时听声音比看 LED 发光更方便。

压电蜂鸣器是由压电陶瓷发声元件和振荡电路组成的电声元件。图 3.38(a) 表示压电陶瓷蜂鸣器的构造，它是一个呈圆形的振动片，由压电陶瓷片和金属片粘贴而成，经振荡电路激励后，产生共振，发出清晰的声音。图 3.39 是压电蜂鸣器的驱动电路。给这个电路的控制输入端输入脉冲信号，压电蜂鸣器发声，否则不发声。



(a) 压电蜂鸣器实物



(b) 压电蜂鸣器的符号

图 3.38　压电蜂鸣器

微信公众号：电子课本大全

三、电磁继电器

平时与我们为伴的电子玩具、手机等都靠电池供电，电压不超过 36 V。按国家电气标准，低于 36 V 才是安全电压，允许人对该电压值以下的电气设备直接操作。 我们知道，民用电网都是交流 220 V 或 380 V，这么高的电压很危险，绝对禁止直接接触。

那么，如果我们想用低压电气元件来控制高电压的通断，用什么方法呢？这就涉及继电器的使用。图 3.40 是几种继电器的外形。

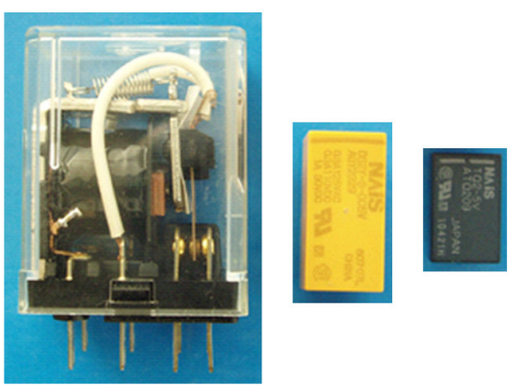


图 3.40　几种继电器

继电器是当输入量（或激励量）满足规定条件时，能在一个或多个电器输出电路中产生跃变的一种器件。简单理解就是用一种电源控制另一种电源通断的器件。

继电器的种类很多，可以按工作原理、结构特征、负载大小、防护特征等分类，常见的有电磁继电器、固态继电器、晶体管继电器、温度继电器、时间继电器等。

本节以电磁继电器为例讲解继电器的原理。电磁继电器的构造如图 3.41 所示。让电流通过线圈，衔铁便在电磁力作用下与接点 *b* 脱开，与接点 *a* 接触，于是 *c* 与 *a* 导通；若线圈中电流中止，在弹簧作用下，衔铁与接点 *a* 断开，与 *b* 恢复接触，结果 *c* 点与 *b* 点导通。

图 3.42 是单片机与上述电磁继电器的连接原理，由于单片机的



新视窗 · 思维外延

手机电量不足时，每隔一段时间就会发出“嘀嘀”声提醒你该充电了。简易机器人上也有蜂鸣器，你能利用这个蜂鸣器来提示机器人的运行状态吗？如机器人运动时碰到障碍物让它发出声音，或者在找到蜡烛时发出声音，这个主意怎么样？



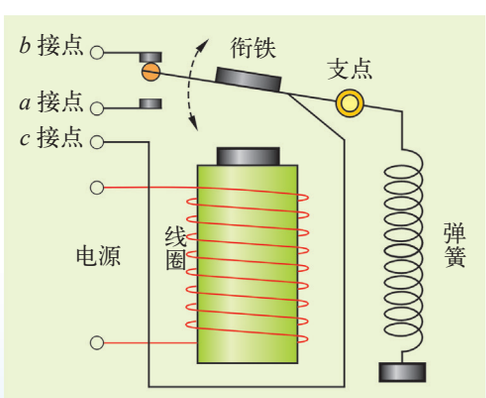


图 3.41　电磁继电器的结构

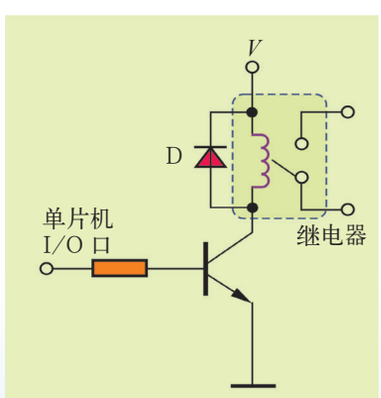


图 3.42　单片机与继电器的连接

微信公众号：电子课本大全

I/O 引脚无法直接驱动继电器线圈，所以增加了一个三极管进行驱动。

本教材机器人活动所使用的继电器是图 3.6 中所示的双刀双掷式电磁继电器，并用于控制电机的转向。为方便使用，电机的启停和方向控制电路都被集成在一个继电器模块中（图 3.43）。



实践活动

继电器控制电机运动

为了加深对继电器的感性认识，可以做如下实验。实验的基本思路是利用接触传感器控制继电器的通断，从而让电机以不同的方向旋转。

按图 3.43 所示把简易机器人的控制器、接触传感器、继电器及电机连接在一起（注意，继电器只能接到控制器上的电机口 2 或 3），根据图 3.44 的程序流程在 ROYA 开发环境上编制控制程序。观察继电器的动作与电机运动情况的因果关系。

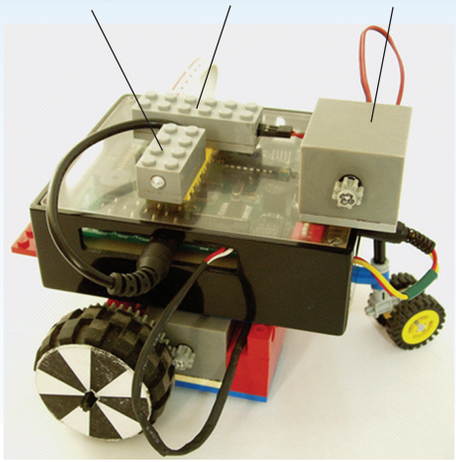


图 3.43　继电器与控制器的连接

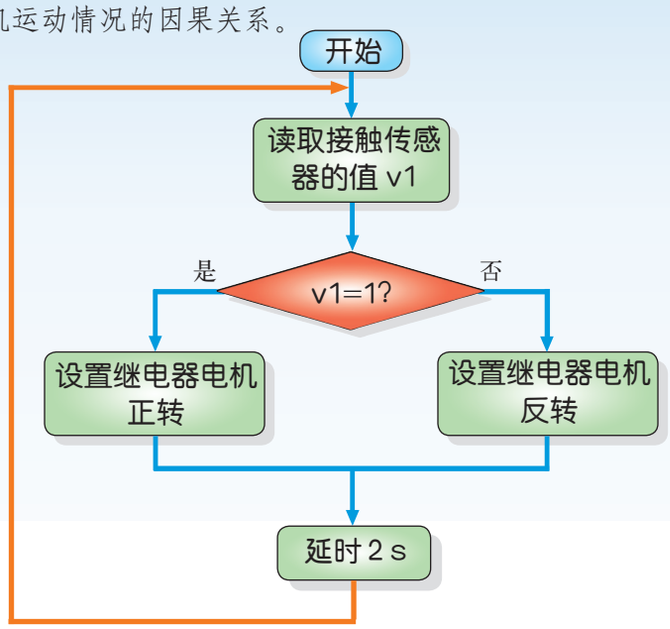


图 3.44　接触传感器控制继电器程序流程图

四、电机

电机（本书指电动机）在第一章就介绍过，机器人的机械结构相当于人的四肢，用来行走、操作等。驱动机器人关节动作的装置叫驱动装置。简易机器人的驱动装置绝大多数由电机担当。

日常生活中可以见到各种各样的电机，如电动玩具使用的直流电机，空调、洗衣机里的交流电机，打印机里的步进电机，等等。在简易机器人制作中，一般使用直流电机，有时也使用步进电机，航模制作中常用的舵机也属于直流电机。图 3.45 是几种型号的直流电机。

微信公众号：电子课本大全

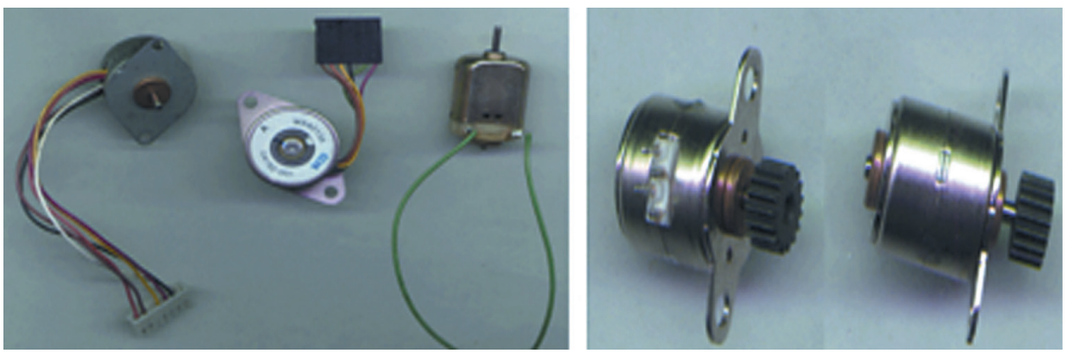


图 3.45　几种类型的直流电机

1．直流电机的结构

直流电机的结构型式很多，但基本的构成是相同的，即必须有定子、转子和换向装置，如图 3.46 所示。定子是固定在机座的圆桶状部分，一般由永磁材料或能产生磁场的线圈构成，小功率电机通常使用永磁材料。转子由一根旋转轴及固定其上的硅钢片构成，转子外缘带槽，槽内有电枢绕组，电流通过绕组，转子便开始旋转。为了使电机连续旋转，转轴尾部设有换向器，它与电刷始终保持接触，能给绕组连续供电。

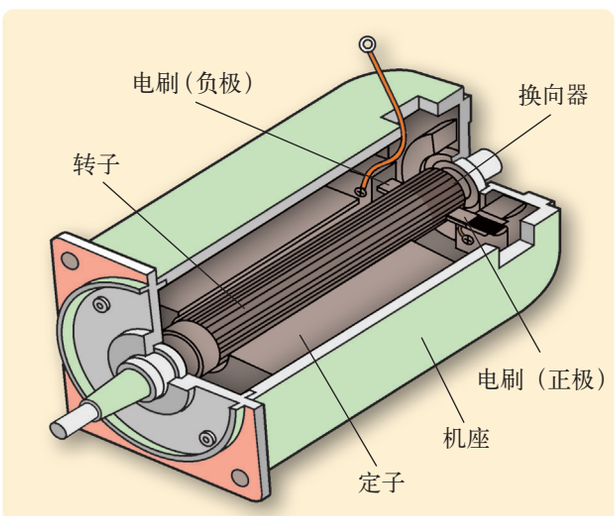
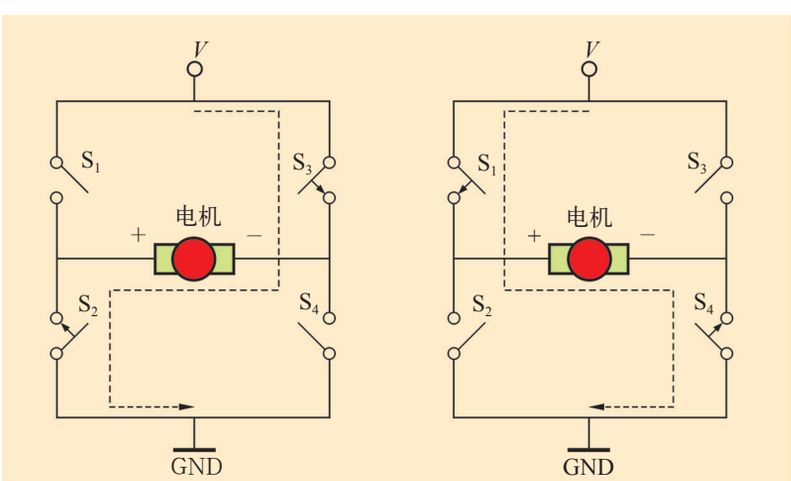


图 3.46　直流电机的结构

换向器和电刷相互之间属于机械接触，因此电机高速旋转时会有电气噪声产生，此时如果在电机两端并联一个电容，可抑制噪声，减弱对控制电路的干扰。

2．直流电机的驱动

我们知道，简单地将直流电机与电池连接就可以实现转动。不过简易机器人需要对电机进行开关、方向和速度的控制，这就涉及电机的驱动和调速问题。图 3.47 是一种广泛使用的电机方向控制电路，用 4 个开关来控制在电机上的电压极性，从而达到控制电机转动方向的目的。图 3.47 的 4 个开关中，如果让对角线上的两个开关闭合，另一对断开，电机就可以实现正转；反之，原对角线上闭合的开关断开，断开的开头闭合，则电机反转。图 3.47 中的虚线代表了电流的方向。



(a) 正转　　(b) 反转

图 3.47　直流电机的方向控制

电机速度的调节可以靠改变电机两端的电压来实现。脉宽调

微信公众号：电子课本大全

制（PWM）就是目前广泛使用的电机调速方法，其原理（图 3.48）是向功放管的基极输入一定频率的高速脉冲（图 3.49），对应于该基极开关脉冲，电机两端的电压也呈现脉冲信号，由于输入脉冲宽度的比例（占空比），即 ON 和 OFF 之比是可改变的，于是电机两端的平均电压得到调节。

虽然在 ON 时间段内施加电压，在 OFF 时间段内切断电压，但是电机中的电流并不会间断，因为 OFF 的时间间隔很短，电机绕组中的能量不会立即释放完毕，因此连接于电机两端的续流二极管内仍有电流流动，结果电流是连续的，不过有如图 3.50 那样的波动，其幅度与脉冲的宽度和频率有关。由此可知，让脉冲波形的占空比发生改变，电机中的电流和两端电压都会随之改变，从而实现速度调节。

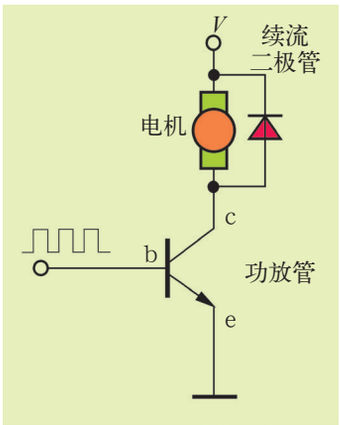


图 3.48　PWM 电机调速

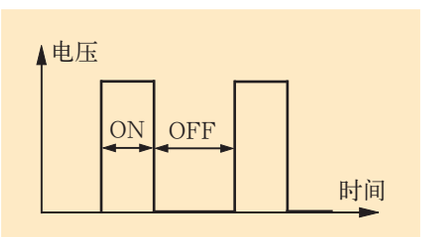


图 3.49　输入的 PWM 波形

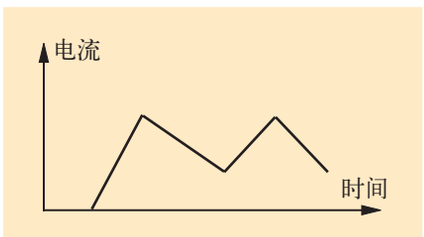


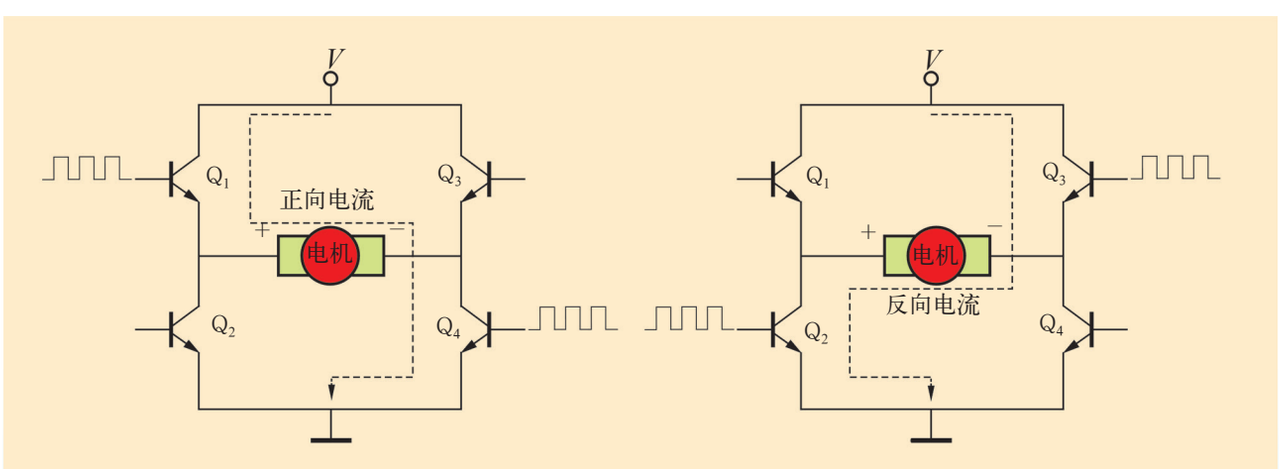
图 3.50　电机中的电流波形

当然，如果电流波动较大，电机运行将不平稳。为了保持电机平稳工作，脉冲频率一般为 10 ～ 20 kHz。

用三极管取代图 3.47 中的开关，并在其基极施加 PWM 控制信号，就构建了一个既可以控制电机转速又可以切换转向的电路，称之为 H 桥 PWM 功放电路（图 3.52）。目前，市面上有很多种型号的 H 桥 PWM 集成芯片销售，如 SN754410、L293、L298、LMD18245、UCN2998 等（图 3.51）。所以要对电机进行启停、调速和方向控制，只须选购 H 桥 PWM 集成芯片即可。



图 3.51　PWM 集成驱动芯片



(a) 正转　　(b) 反转

图 3.52　H 桥 PWM 功放电路

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

检验 PWM 与电机速度的关系

在前面的实验中我们设置电机速度时，实际上是设置控制电机的 PWM 值，例如设置速度 80 所对应的电机 ON 和 OFF 的时间分别占 80%和 20%。

那么设置的 PWM 值是否与实际电机速度呈线性关系呢？请同学们编一个程序，用 ROYA 开发环境中的电机模块设置不同的 PWM 值，并通过延时控制简易机器人直线前进，然后用前进距离除以延时时间算出机器人的平均速度。把实验结果绘制在图 3.53 所示的坐标系中。

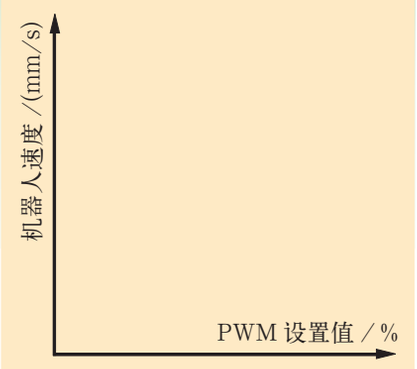
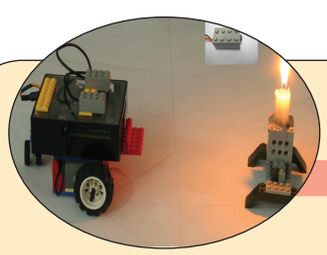


图 3.53　PWM 值和机器人速度

思考：

1. 画出的实验曲线是否近似为一条直线？如果不是直线，分析其原因。

2. 电机速度与机器人速度是什么关系？如果图中纵坐标改为电机速度，曲线会有什么变化？



本　章　小　结

简易机器人控制系统以控制器为核心，包括各种输入元件和输出元件，另外控制软件也是不可或缺的重要组成部分。

机器人控制板上集成了 RS-232 通信口，可以与 PC 机的串行口直接通信，也可通过该串行口对控制板上单片机编程。

机器人控制板上也集成了各种功能按钮，包括电机的启、停和电源开关。

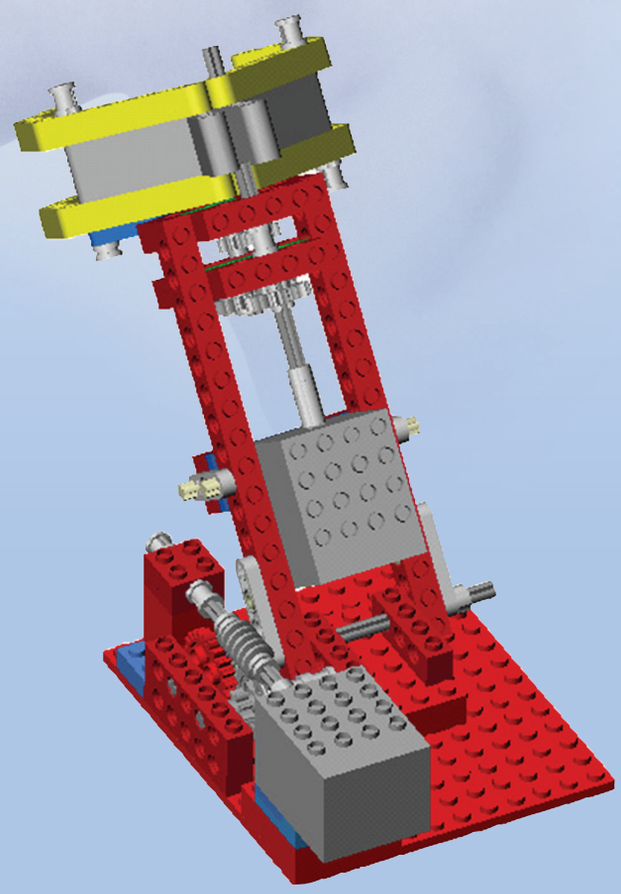
机器人外部传感器包括接触传感器、光敏传感器、光电判读器、红外测障传感器等。接触传感器是一种开关传感器，输出为开关量，一般用来判断是否碰到障碍物或作为行程开关使用；光敏传感器是一种模拟传感器，输出为模拟量，用来寻找发光物体的位置；光电判读器也是一种开关传感器，输出为开关量，能在一定距离内识别物体的颜色，因此在简易机器人上往往用作巡线传感器；红外测障传感器是一种开关传感器，输出开关量，它能在非接触状态下检测到障碍物，利用这个特点机器人可以避开障碍。

简易机器人上的输出元件就是各种执行元件，包括发光二极管、蜂鸣器、继电器和电机等。发光二极管用作机器人工作时的各种状态显示。蜂鸣器是一种发声器件，机器人可通过它表达自己的运行状况。继电器是一种电源控制器件，一般用在弱电控制强电的场合，在简易机器人中，继电器作为控制电路与电机驱动电路之间的桥梁。电机是一种电能转换为机械能的执行元件，是简易机器人中最重要的输出元件，简易机器人上使用了两种电路分别控制调速电机和非调速电机。非调速电机的控制较为简单，使用继电器即可；调速电机采用专用的 PWM 驱动芯片，也不难实现。

微信公众号：电子课本大全

第四章　简易机器人的机械系统

在第一章，同学们搭建过一个移动小车，它是机器人机械系统的一个部分，确切地说是移动的载体，而非全部。人的运动系统由躯体、四肢、肌肉、筋腱、骨骼等组成，完成站立、行走、奔跑、跳跃等动作；类似地，驱动装置、传动装置、执行机构和机体四大部分组成了机器人的机械系统。在控制系统的指挥下，机器人的机械系统完成移动、转向、抓放等运动功能，以便胜任搬运、焊接、装配、表演等作业任务。



微信公众号：电子课本大全

第一节　机械系统的组成



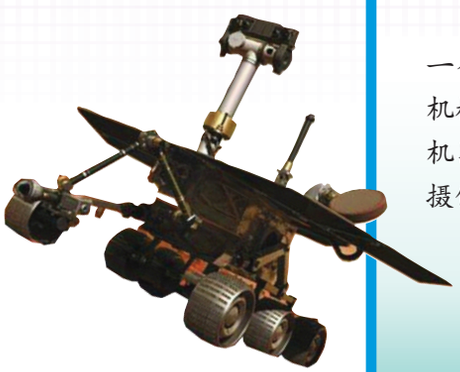
学习导航

1．机器人机械系统由哪几部分组成?

2．常见的机械传动方式有哪些?



现象与问题



“勇气号”火星探测机器人

左图为“勇气号”火星探测机器人。该机器人的前端安装了一个柔性机械臂，机械臂有 3 个关节，模仿人的肩、肘及手腕。机械臂末端安装了摄像机、X 射线质谱仪、岩石研磨工具等。因此，机器人既可以在崎岖不平的火星表面行驶，又可完成 360° 的全景摄像、岩石的钻孔与粉碎、岩石材料成分的分析等任务。

讨论：

1．机器人的能量是从哪儿获得的?

2．机器人是通过什么装置将接受的能量转换成各种运动的?

3．机器人上各个机械部分是如何保持确定位置的?

在第一章中我们提出了一种高台灭火机器人的设计方案。为了解释简易机器人机械系统的组成，图 4.1 给出了一个灭火机器人机械系统具体结构的示例，它由驱动装置、传动装置、执行机构和机体 4 部分组成。这与实用机器人的机械系统组成是一致的。

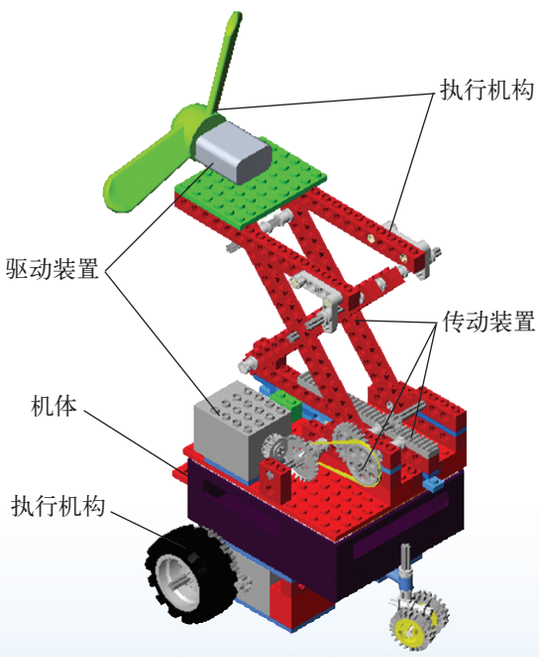


图 4.1　灭火机器人结构举例

一、驱动装置

人体运动的动力来自于肌肉的伸缩，汽车开动需要发动机，遥控玩具车则通常需要电机驱动。机器人与任何机械一样，也有赖于驱动装置来产生运动，完成各种动作。图 4.1 中简易机器人的驱动装置是微型电机，图 4.2 中家庭服务机器人采用气动人工肌肉作为驱动装置。机器人的驱动装置还包括汽缸、液压缸等。

微信公众号：电子课本大全

二、传动装置

传动装置在很多机械上都是必要的。骑自行车时，双腿的蹬踏力经脚蹬曲柄和链轮链条传递给后车轮，再驱动自行车前进，链轮链条就是传动装置（图 4.3）；在汽车上，内燃机输出的旋转动力经过传动装置（如变速箱和液压变矩器等）调节了力矩的大小和方向后传送给车轮，驱动汽车前行。



图 4.2　服务型机器人的驱动装置——人工肌肉

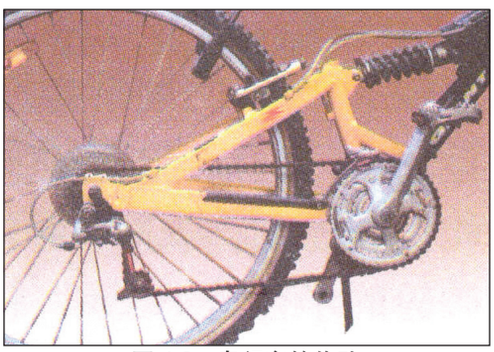


图 4.3　自行车的传动装置——链轮链条

传动装置的主要作用是传递动力和运动，或者改变运动的形式。机械传动中，常见的传动形式包括齿轮传动、链传动、连杆传动、带传动等。

在一个机器中，可以采用单一的传动形式，也可以多种形式并用。图 4.1 所示灭火机器人中的传动装置就包括齿轮传动、带传动、连杆传动等。

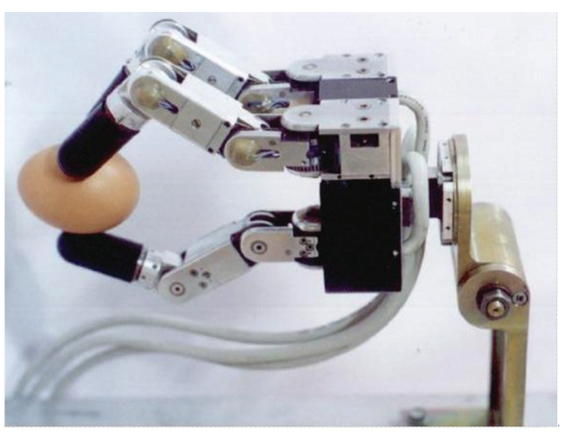


图 4.4　机器人手爪抓握鸡蛋

三、执行机构

执行机构是用来完成特定作业任务的装置。例如，机床的刀具用于对毛坯进行切削加工，自行车的轮子和车把分别实现滚动前行和转向，消防车的高压水枪则扮演灭火的角色等。显然，机器人应该借助不同的执行机构去完成不同的作业任务，焊接机器人的执行机构是焊枪，喷涂机器人的执行机构是喷枪，清洁机器人的执行机构是清水喷淋头和刷子，而灭火和巡线运球机器人的执行机构分别为风扇和手爪。图 4.4 中机器人的执行机构（手爪）正在抓握一个鸡蛋。

四、机体

机体的作用相当于人体的躯干，机器人的驱动装置、传动装置、

微信公众号：电子课本大全

执行机构三者都要安装在机体上。机体要有足够的强度，以保证机器人在实现各项功能时足够坚固，其作用类似于自行车的车架，汽车的底盘等。

综上所述，在机器人的机械系统中，传动装置起着非常重要的作用，它把驱动装置输出的单一运动形式变化成多种运动方式，满足不同执行机构的要求。机器人中传动装置最为复杂，也最富有创意，因此本章重点介绍各种机械传动的方式。



探究尝试

电动自行车和摩托车都是常见的交通工具。试分析一下它们各由哪些主要部件组成。能否按照驱动装置、传动装置、执行机构及机体的分类方法，将各主要部件归类？

微信公众号：电子课本大全

第二节　齿轮传动机构



学习导航

1．什么是齿轮传动？
2．常见齿轮传动的类型有哪些？
3．齿轮传动的特点、形式及作用是什么？
4．如何计算简单的齿轮传动比？



机械手表的内部结构



现象与问题

手表是我们生活中接触较多的物件。左图为机械式手表的内部结构，其动力由发条提供，通过一系列的齿轮，转换成时针、分针、秒针的转动。

讨论：

1．各个齿轮的转动方向和转动速度一样吗？
2．秒针、分针、时针之间固定的转速比例关系是怎样形成的？
3．为什么一根发条可同时为秒针、分针、时针提供动力？

一、齿轮传动的概念、特点和类型

齿轮传动的概念

齿轮是一种边缘有齿的轮子。齿轮传动是借助于安装在轴上的齿轮圆周上均匀分布的很多齿牙逐对啮合来传递力矩的传动方式。这种靠逐对齿牙接触的传动，也称作啮合传动。齿轮传动在我们的身边随处可见。

1．齿轮旋转的方向

请同学们按照图 4.5 所示搭建一套简单的齿轮传动装置，转动小齿轮，大齿轮会怎样运动呢？

2．加速系统和减速系统

图 4.5 的模型中，大小齿轮的齿数分别为 40 和 8。请预测一下当你以不同的齿轮为主动轮时，将会怎样？

你会发现，转动小齿轮（主动轮）时，大齿轮（从动轮）的转速变慢。要使大齿轮转一圈，必须驱动小齿轮转若干圈，这样的装置称

微信公众号：电子课本大全

作减速系统。反之，将上面大小齿轮的作用调换一下（图 4.6），会发现，转动大齿轮（主动轮）时，小齿轮（从动轮）的转速变快。对应于大齿轮转一圈，小齿轮会转若干圈，这样的装置称作加速系统。

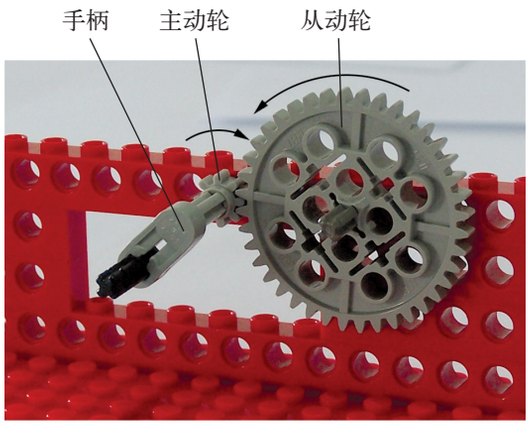


图 4.5　齿轮旋转的方向

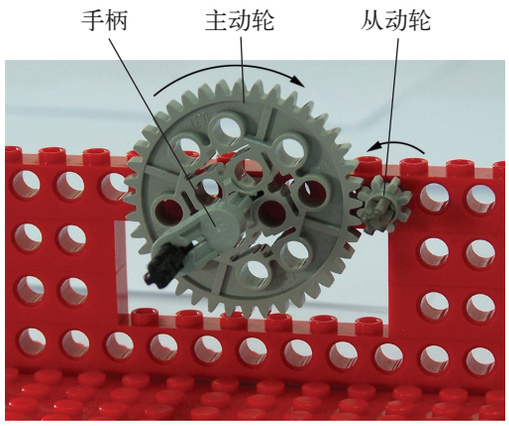


图 4.6　加速系统

3．传动比

一对相互啮合齿轮的角速度之比称为传动比。很容易想明白，主动轮转过一个齿，从动轮也必须转过一个齿，所以一对齿轮的转速与齿数成反比，即

$$\omega_{主} : \omega_{从} = z_2\text{（从动轮齿数）} : z_1\text{（主动轮齿数）}$$

由此可知，利用不同齿数的齿轮相啮合，能够得到不同的传动比。图 4.5 减速系统的传动比为 5∶1，即当小齿轮（主动轮）转过 1 圈时，大齿轮（从动轮）才转过 1/5 圈。

4．惰轮

图 4.7 模型中 3 个齿轮的齿数分别为 24、8 和 40。观察它们转动方向的规律发现，无论谁作为主动轮，两个大齿轮的转向始终相同，而中间小齿轮的转向与它们相反。中间的小齿轮叫作惰轮。

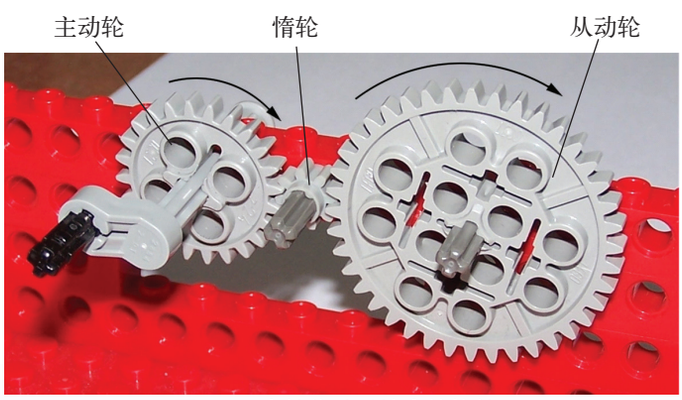


图 4.7　齿轮传动系统中的惰轮



探究尝试

请同学们计算一下图 4.7 中主动轮与从动轮的传动比，看一看惰轮的齿数是否与传动比有关。惰轮在齿轮传动中起什么作用？

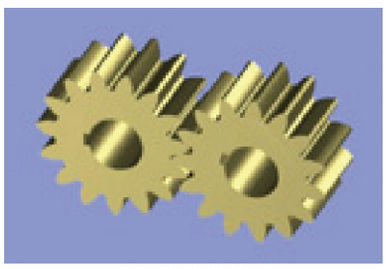
齿轮传动的特点和类型

机器人的机械系统中，齿轮传动的应用最广泛。齿轮传动利用一

微信公众号：电子课本大全

系列齿轮之间的相互啮合组成变速箱，可以实现变速并传递动力。齿轮传动的特点是紧凑、效率高、寿命长、传动比准确；但制造精度和安装精度要求较高，且不适于远距离传动。

齿轮传动的类型包括直齿轮传动[图4.8(a)]、斜齿轮传动[图4.8(b)]、锥齿轮传动[图4.8(c)]、蜗轮蜗杆传动[图4.8(d)]、齿条传动[图4.8(e)]等。



(a) 直齿轮传动



(b) 斜齿轮传动



(c) 锥齿轮传动



(d) 蜗轮蜗杆传动



(e) 齿条传动

图 4.8　齿轮传动的类型

二、轮系

在实际机械中，采用单对齿轮组成的齿轮机构往往是不够的，为了满足不同的用途，需要采用多对齿轮。例如，在钟表里保持时针，分针、秒针之间转速的定比关系，必须多对齿轮配合使用；汽车后桥的差动齿轮机构，在弯道上将发动机传来的一种转速分解为两个后轮的不同转速，以适应不同的转弯半径等。这种由一系列齿轮组成的齿轮机构统称为轮系，若将轮系封闭在刚性壳体内，则称之为变速箱。

轮系的组成有各种类型，大体可分为定轴轮系与周转轮系两大类。后者比较复杂，本教材暂不涉及。

轮系运转时，如果各齿轮轴线互相平行且位置固定，则称之为平面定轴轮系，图 4.7 和图 4.9 即是简单的平面定轴轮系。若各齿轮的轴线不平行，则称之为空间定轴轮系，图4.10是较复杂的空间定轴轮系。

定轴轮系的传动比为系统运动输入齿轮转速与运动输出齿轮转速的比值：



小 资 料

各种齿轮传动形式的区别

直齿轮呈圆柱状，轮齿均匀地分布于外圆柱面，方向平行于轴线。

斜齿轮也呈圆柱状，但轮齿方向与轴线成一定角度。与直齿轮相比，斜齿轮传动更平稳，可以传递更大的载荷并且可以承受更高的转速。

锥齿轮就是外形呈圆锥状的齿轮，它用来传递相交轴之间的运动，从而改变运动传递的方向。

蜗轮蜗杆用于交错轴间的传动，能获得很高的减速比。转动蜗杆，可轻巧地驱使蜗轮转动，而转动蜗轮却几乎无法驱使蜗杆转动（即具有自锁性）。

齿条上所有的齿都排列成直线。齿轮齿条传动可以将旋转运动转换为直线运动，或将直线运动转换为旋转运动。

微信公众号：电子课本大全

$\omega_{主}$ ： $\omega_{从}$ = 各对齿轮从动轮齿数的乘积 ： 各对齿轮主动轮齿数的乘积

轮系的作用和特点：

(1) 能获得较大的传动比。一对啮合齿轮，考虑到尺寸的合理性，大小齿轮直径不宜相差太大。如果要求实现大传动比的传动，则需要采用轮系。

(2) 实现分路和换向传动。如图 4.10 所示，带有手柄的直齿轮是主动轮，输入运动是转动；轮系的运动输出有 3 种，即蜗轮的转动、齿条的直线运动及锥齿轮的旋转运动。通过该轮系，既可以实现分路，也可以实现换向。

(3) 实现相距较远的两轴之间的传动。

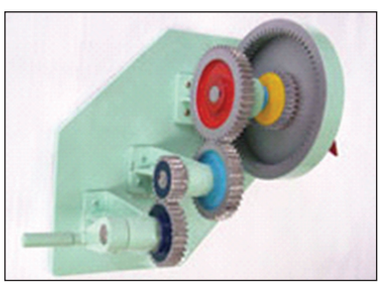


图 4.9　平面定轴轮系

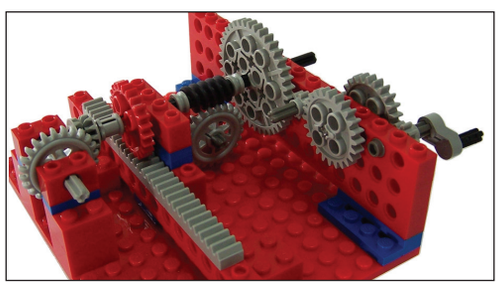


图 4.10　空间定轴轮系



探究尝试

骑变速自行车的人都知道，在高速挡，蹬踏费力，但自行车的行进速度加快；在低速挡，蹬踏轻巧，不过自行车行进速度变慢。你知道为什么吗？

驾驶员在汽车爬坡时要将变速器换成低速挡，这又是为什么？



活动延伸

1. 按照图 4.11 所示，用 8 齿、16 齿、40 齿的直齿轮，12 齿、24 齿的圆锥齿轮，齿条、轮轴及各种积木块搭建一套齿轮减速箱。当用手转动手柄时，请指出：该减速箱有几种运动输出？是什么运动输出？输入旋转运动和输出旋转运动的轴心线是什么关系？其传动比是多少？

2. 找一个电动玩具车，分析它的传动机构，计算电机与轮胎的传动比是多少。

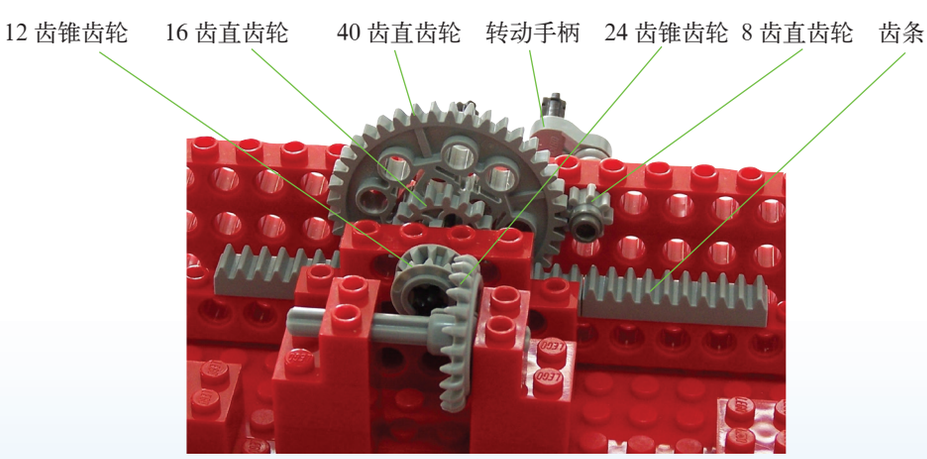


图 4.11　齿轮减速箱

微信公众号：电子课本大全

小 资 料

舵机

“舵机”的含义为“掌舵人操纵的机器”，“微型伺服电机”是它的学名。舵机在航模中经常使用，也是简易机器人最容易得到的电机组件之一。舵机由以下几部分构成（图 4.12）：直流电机、齿轮箱、可调电位器、控制板（仅需 1 根控制线）。其中高速转动的直流电机提供了原始动力，齿轮箱使之减速并产生高力矩输出。

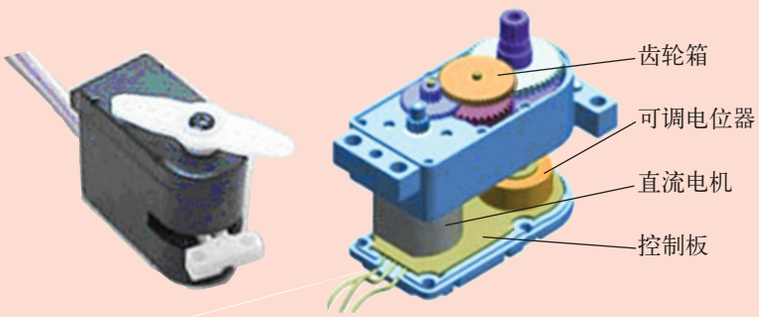


图 4.12　舵机及其内部结构

阅读材料

有关齿轮的概念

学习齿轮传动，了解一些关键的术语是很有必要的。下面结合图 4.13 进行讲解：

1. 模数：轮齿越大则所能传递的力越大。齿轮用模数来表示其轮齿的大小，模数越大，则齿型也越大。一对齿轮正确啮合的必要条件是模数必须相等。由齿轮外径求模数的步骤如下：

(1) 用直尺或游标卡尺测量齿轮外径；

(2) 数该齿轮的齿数；

(3) 代入下列算式求模数：模数 = 外径 /(齿数 + 2)。

2. 分度圆：用于设计和制造齿轮的假想圆，它是所有齿轮有关计算和测量的基础。它的大致位置处在轮齿的中部。

3. 齿顶圆：一个假想的构成齿顶边界的圆，它通过所有轮齿的顶端。

4. 齿根圆：假想的通过所有齿槽底部的圆。

5. 齿顶高：齿顶圆与分度圆之间的径向距离。

6. 齿根高：齿根圆与分度圆之间的径向距离。

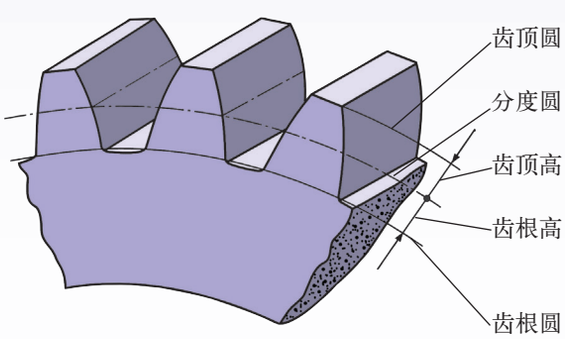


图 4.13　齿轮各部分的名称

微信公众号：电子课本大全

第三节　平面连杆传动机构



学习导航

1. 什么是平面连杆机构?
2. 连杆机构是如何转换运动形式的?
3. 尝试设计和制作一些简单的连杆传动装置。



现象与问题



雨伞



摇头风扇

雨伞和摇头风扇是家庭生活的常见品。

讨论：

1. 雨伞是如何开启和收拢的?
2. 摇头风扇是如何实现摇头的？
3. 你知道雨伞及摇头风扇中各有什么传动机构吗?

连杆机构由若干个刚性杆件通过转动关节（也称铰链）、移动关节（也称滑道）连接而成。如果构件（包括杆件和关节）上每个点的运动平面相互平行，则称为平面连杆机构。

连杆机构听起来很陌生，如果分析一下“现象与问题”中的两个实例，对连杆机构的概念、特点及作用便不难理解。

雨伞的骨架一般由 8 条支路组成，每一路都是一个简单的平面连杆机构，其原理简化成图 4.14。我们在雨天撑开雨伞，就是推动滑块沿伞柄向上运动，让连杆带动摇杆围绕位于伞顶的铰链中心摆动，结果伞布张开。摇头风扇中也包含了一个平面连杆机构（原理见图 4.15）。

图 4.14、图 4.15 中的平面连杆机构有一个共性，即用铰链将 4 个杆件连接而成，因此称为平面四连杆机构。平面四连杆机构

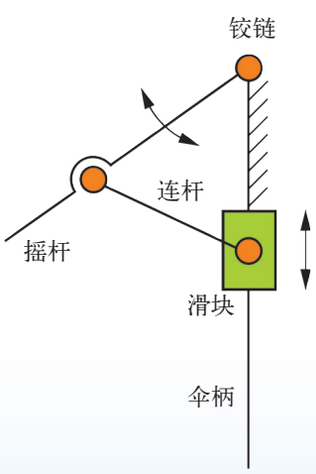


图 4.14　雨伞的收放机构

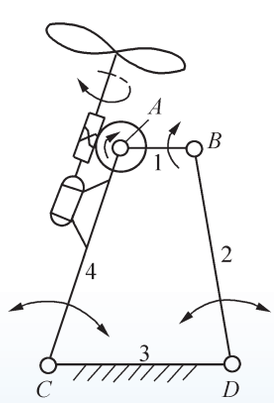


图 4.15　摇头风扇的传动机构

微信公众号：电子课本大全

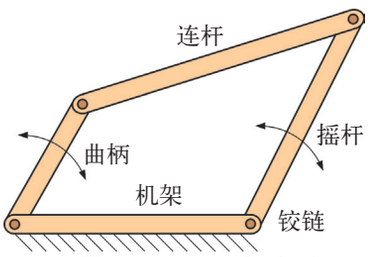


图 4.16　曲柄摇杆机构

中，与机架相连的杆件称为连架杆，能绕定轴做整周回转的杆件称为曲柄，绕定轴做往复摆动的杆件称为摇杆或摆杆，不与机架相连的杆件称为连杆，只做往复移动的杆件称为滑块。

比较典型的平面四连杆机构有曲柄摇杆机构（可将曲柄的整周回转运动转换为摇杆的往复摇摆运动，见图 4.16）、曲柄滑块机构（可将曲柄的整周回转运动转换为滑块的直线运动，见图 4.17）、双曲柄机构（与机架相连的两个杆件均能做整周转动等。

平行四连杆机构的两组相对的杆件长度彼此相等（图 4.18），它是双曲柄机构的一个特例，在日常生活中常见。

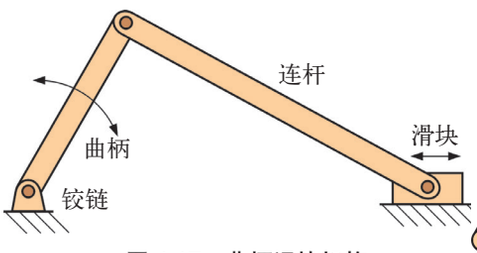


图 4.17　曲柄滑块机构

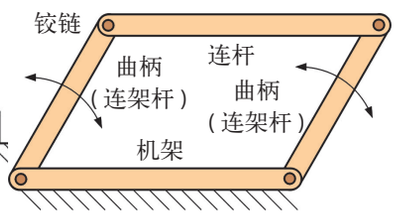


图 4.18　平行四连杆机构



小 资 料

机器人中的连杆机构

工业机器人一般由机座、腰部、大臂、小臂、手腕等组成（图 4.19）。为了减小运动惯性和增大小臂的驱动力矩，小臂驱动电机通常安装在大臂与腰部的连接关节上，通过一个平行四连杆机构驱动小臂运动。图 4.20 是六足步行机器人模型，其 6 条腿分布于机器人身体两侧：中间的 1 对为主动腿，前后 2 对为从动腿。通过直流电机，带动同步带，再驱动中间的 2 条主动腿，主动腿通过连杆机构传动，使前后 4 条腿协同运动。该六足机器人能够完成预定的直线行走和爬坡（最大爬坡角度 15°）任务。



图 4.19　工业机器人

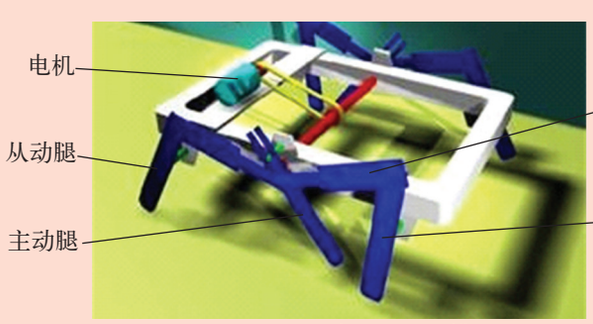


图 4.20　六足步行机器人模型

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

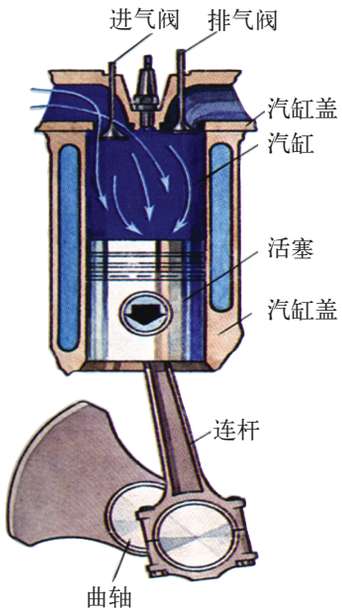


图 4.21　内燃机工作原理示意

图 4.21 为内燃机的工作原理示意，图 4.22 是机车车轮的联动机构，试分析它们分别属于什么类型的连杆机构。

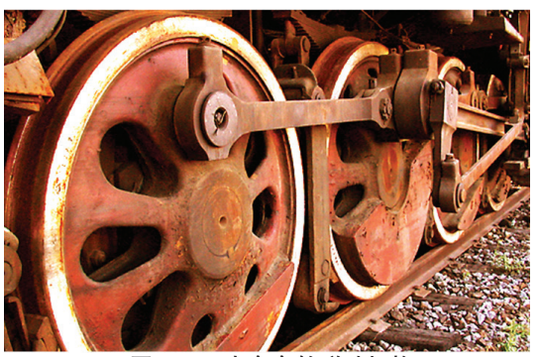


图 4.22　火车车轮联动机构



活动延伸

可伸缩毛巾架的制作

材料：1 cm 宽、2 mm 厚的木条或竹片若干，直径为 1 cm 的木棍若干，直径为 1 mm 的铁丝或铝条 20 cm，直径为 3 mm 的木螺钉 4 个。

工具：钳子、铁锤、直尺、钢锯、螺丝刀各 1 个。

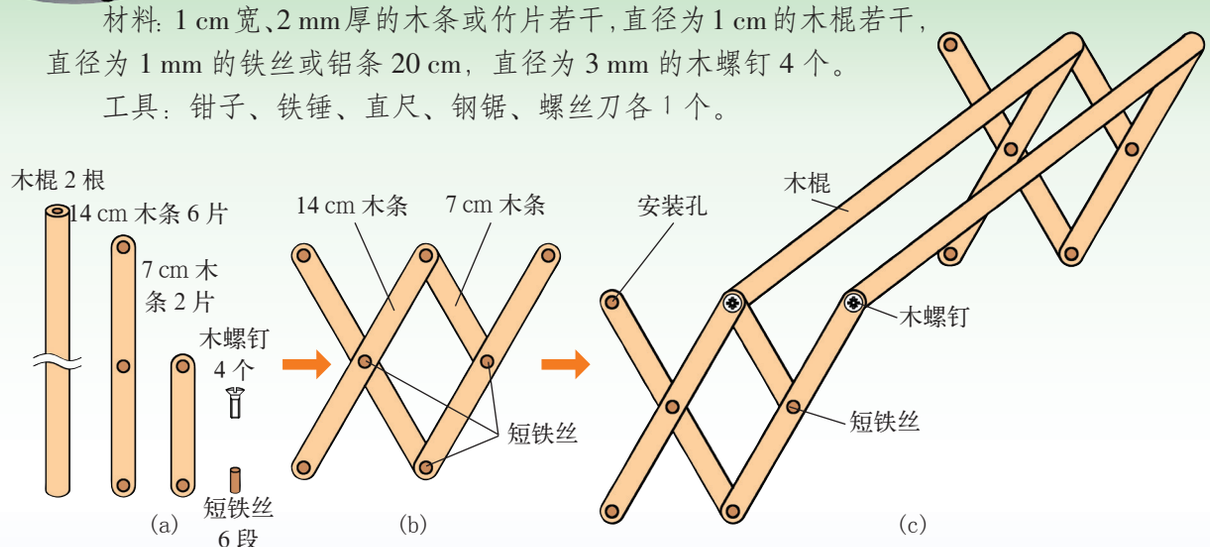


图 4.23　可伸缩毛巾架

制作步骤：

(1) 截出 14 cm 长的木条 6 片，7 cm 长的木条 2 片，40 cm 长的木棍 2 根，6 mm 长的铁丝 6 段，另备木螺钉 4 个，如图 4.23(a) 所示。

微信公众号：电子课本大全

(2) 用 6 片 14 cm 长的木条，2 片 7 cm 长的木条，连接成如图 4.23(b) 所示的平面四杆机构 (2 套)，然后用 6 根 6 mm 长的铁丝充当转轴，将各个连接处销接。销接时，应保证各铰链处杆件之间转动的灵活性。

(3) 用木螺钉将木棍与步骤 2 中组装的平面四杆机构连接，如图 4.23(c) 所示。在拧紧木螺钉时，不必过于用力，以免木条开裂。

(4) 选择一对安装孔，将可伸缩毛巾架固定在墙面上或其他支架上。让另一对安装孔能在墙面自由滑动。这样一个简易的可伸缩毛巾架就做成了。

试分析一下图 4.23 中的毛巾架除使用了平行四杆机构外，还采用了什么机构？该机构的运动特点是什么？

阅读材料

柔性传动

齿轮传动用于传递空间任意两轴或多轴之间的运动和动力，具有传动效率高、结构紧凑、工作可靠、寿命长、传动比准确的特点，但一般不宜用于两轴间距离较大的场合。

连杆机构中既有整周转动的曲柄，又有往复摆动的摇杆，还有做平面一般运动的连杆以及做往复直线移动的滑块，因此利用连杆机构可以获得各种形式的运动。但连杆传动的工作效率较低，在高速时会引起较大的振动和动载荷，因而常用于速度较低的场合。

如果打算在轴间距较远的两根轴之间传递旋转运动和力矩，可以往每根轴上分别安装带轮(或链轮)，并在带轮(或链轮)上环绕皮带(或链条)，这种传动方式称为柔性传动(图 4.23、图 4.24、图 4.25)。它可吸收振动，噪声小。柔性传动的输入输出都是转动。

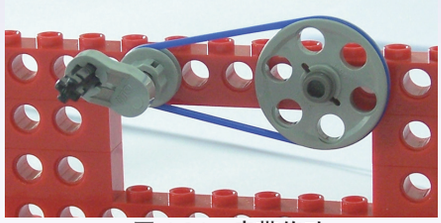


图 4.24　皮带传动

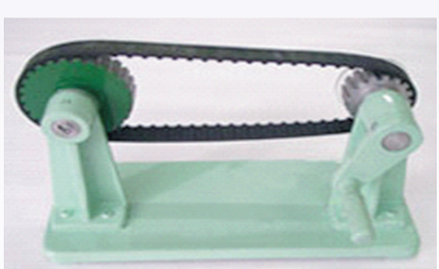


图 4.25　齿形带传动

根据传动是否存在相对滑动现象，柔性传动可以分为摩擦传动与啮合传动两种。前者存在相对滑动，又分为平皮带传动、V 形皮带传动和绳索传动 3 种。后者不存在相对滑动，又分为滚子链条传动和齿形带传动。

柔性传动中，两个带轮或链轮的角速度之比与它们的半径成反比。即

$$\omega_{主} : \omega_{从} = \text{从动链(带)轮半径} : \text{主动链(带)轮半径}$$

在机器人中，往往需要多种机械传动方式的配合，图 4.26 举出一个绳索传动的例子。对简易机器人而言，有时也能见到皮带、链轮、链条传动。

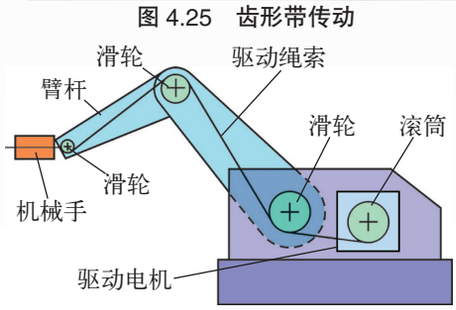


图 4.26　绳索传动机械手

微信公众号：电子课本大全

第四节　简易机器人机械系统的设计与制作

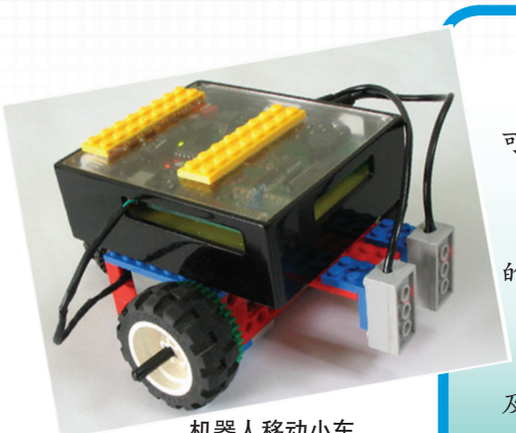


学习导航

1. 如何根据设计任务制订机器人机械系统的设计方案?
2. 怎样把驱动装置、机械传动机构、执行机构及机体组合在一起?
3. 机器人移动载体有哪几种结构形式?



现象与问题



机器人移动小车

左图为第一章中同学们组装成的机器人移动小车，它可以完成前进、后退、转弯等动作。

讨论：

1. 在制作该移动小车时，你事先明确该小车所要完成的任务吗?

2. 如果你来设计该机器人，如何制订设计方案?

3. 移动小车为什么选择三轮移动方式，而不采用履带及腿足式移动方式呢?

机器人的功能不同，机械系统的结构与形式也会有区别，因此，如何根据具体任务设计制作不同类型的简易机器人是要动一番脑筋的。第一章提出了两个简易机器人制作任务：高台灭火机器人和巡线运球机器人。在高台灭火机器人的总体设计阶段，提出以三轮小车为移动载体，以升降台和风扇的方式实现灭火功能的方案。巡线运球机器人也是以三轮小车为移动载体，由可抬起和放下的抓持手爪实现抓球、运球、放球等功能。三轮小车载体我们在前面已搭建完成，在这一节，我们将讲解如何设计和制作满足操作要求的灭火升降台和抓球机械手。

一、灭火升降台

在火灾现场，消防员们会奋不顾身地攀上云梯，勇闯火海，救死扶伤。现在我们就来发挥自己的聪明才智，为消防员设计和制作一个简易的灭火升降台。表 4.1 说明了如何根据机器人高台灭火的具体要求，将机械系统的设计问题一一细化。

微信公众号：电子课本大全

表 4.1　高台灭火机器人机械系统设计方案的讨论

主要组成	考虑因素	技术细节	具体方案
执行机构	灭火手段	气流灭火	自制风扇
	风扇高度应可调节	风扇装载在升降台上，在机器人移动过程中，升降平台应处于低重心的收拢状态，到达火灾现场后再展开，这样机器人移动比较稳定	缩放机构既能满足升降的要求，又能保证风扇的姿态始终不变
	风扇的姿态要求	在升降过程中，风扇平台应始终保持水平，使气流直吹向蜡烛火焰	
	升降速度	要快，因为“时间就是生命”	选择适当的传动机构
驱动装置	风扇驱动装置	输入电流、输出功率、输出轴转速、安装方式	直流电机适合简易机器人的特点
	升降台驱动装置		
传动装置	减速比	由电机转速和升降速度的比值，计算减速比，估计减速机构的组成方式	电机→锥齿轮→带传动→齿轮对→齿轮齿条→缩放机构
	运动方向的转换	从电机的转动转换为升降台的移动	
	传动轴距离长短	选择适当类型的传动机构	
控制	高度定位	通过升降位置限位来控制电机的启闭	限位开关
机体	支撑和可靠地连接上述各个部分，具有一定的强度和刚度		

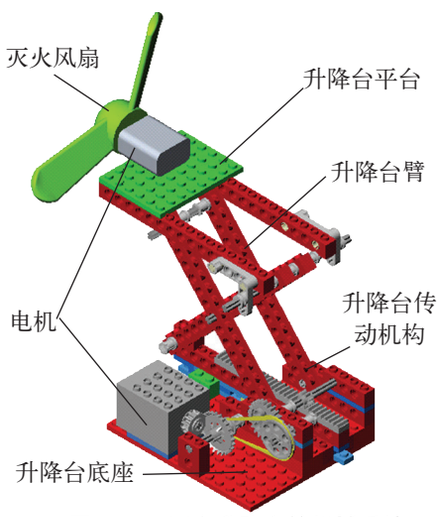


图 4.27　灭火升降台的机械系统

表 4.1 说明，在简易机器人机械系统的设计中，执行机构和传动装置的设计任务是比较繁重的，所需考虑的问题比较多。事实上，除了下面给出的一种方案外，当然还有其他解决问题的途径。因此可以说，在机械结构方面简易机器人给同学们留出了广阔的创造空间。

图 4.27 给出了灭火升降台机械系统的具体结构，它是根据表 4.1 的分析得出的结果，漂亮吗？机体基本上采用拼装式结构，驱动装置（电机）、传动装置位于底部，风扇的安装平台则被安排在缩放机构的顶部，整个机械系统由平面连杆机构、齿轮传动机构、带传动有机地结合而成，现在就让我们来组装它。

第一步：请按照图 4.28 中左边提供的零件组装成右边所示的灭火升降台底座。

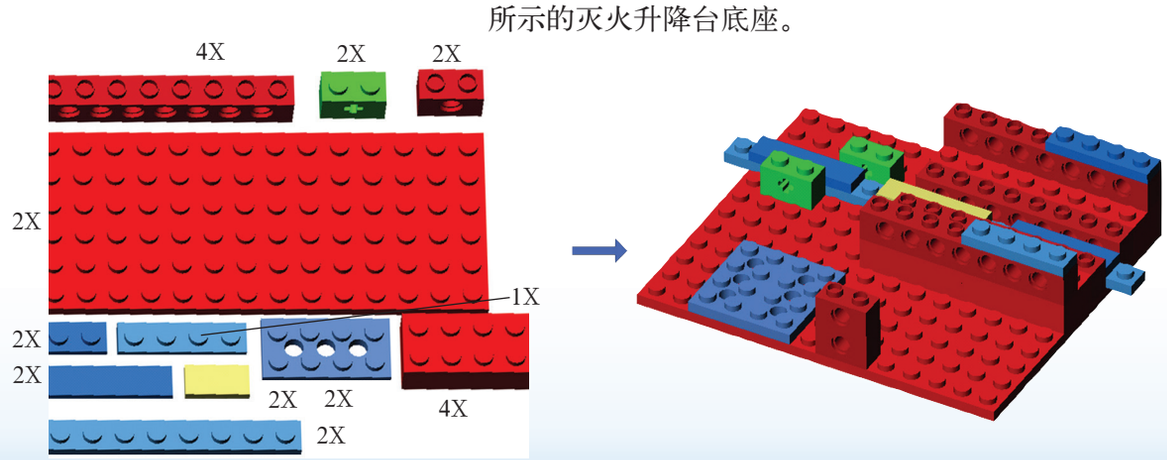


图 4.28　灭火升降台底座零件及组装图

微信公众号：电子课本大全

底座是上层结构的基体，其最主要的要求就是一定要牢固。因此，在搭接底座时一定要将各个零件插牢、按紧。

第二步：请按照图 4.29 中左边提供的零件组装成右图所示的升降台臂。

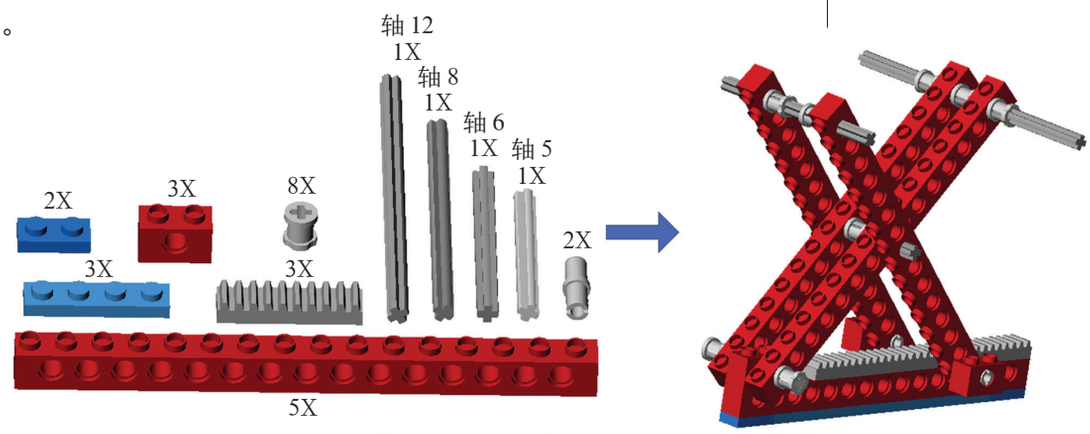


图 4.29　升降台臂零件及组装方法

第三步：请按照图 4.30 中左边提供的零件组装成右边所示的风扇平台。

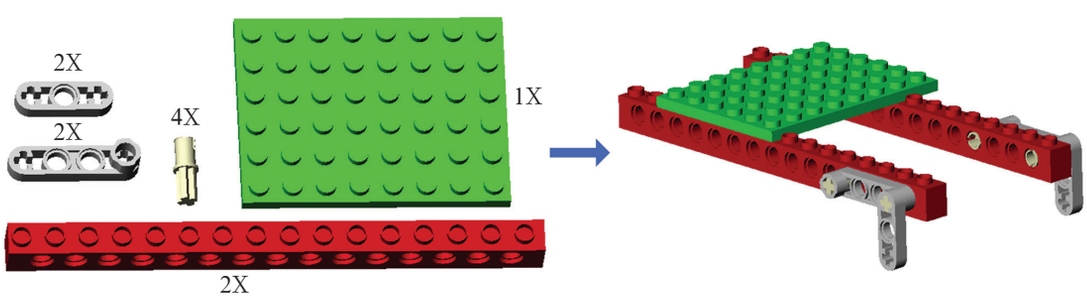


图 4.30　风扇平台的零件及组装方法

.

显然，搭建平台的要领是平台能沿上连杆移动。

第四步：升降台已经组装起来了，但是它现在还不能动。还需要按照图 4.31 中左边提供的零件在底座上组装成右边所示的传动装置及驱动装置。

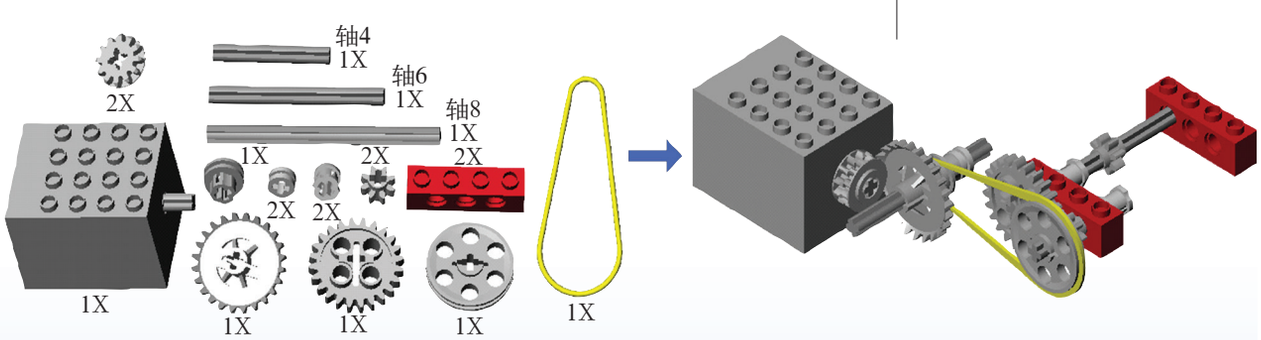


图 4.31　升降台传动装置与驱动装置零件及组装方法

电机是整个灭火升降台的动力源，通过控制电机的转向来实现对

微信公众号：电子课本大全

升降台上升和下降的控制。

第五步：完成了升降台底座、升降台臂、风扇平台、传动装置及驱动装置的制作后，就可以按照图 4.32 将整个升降台组装起来了。

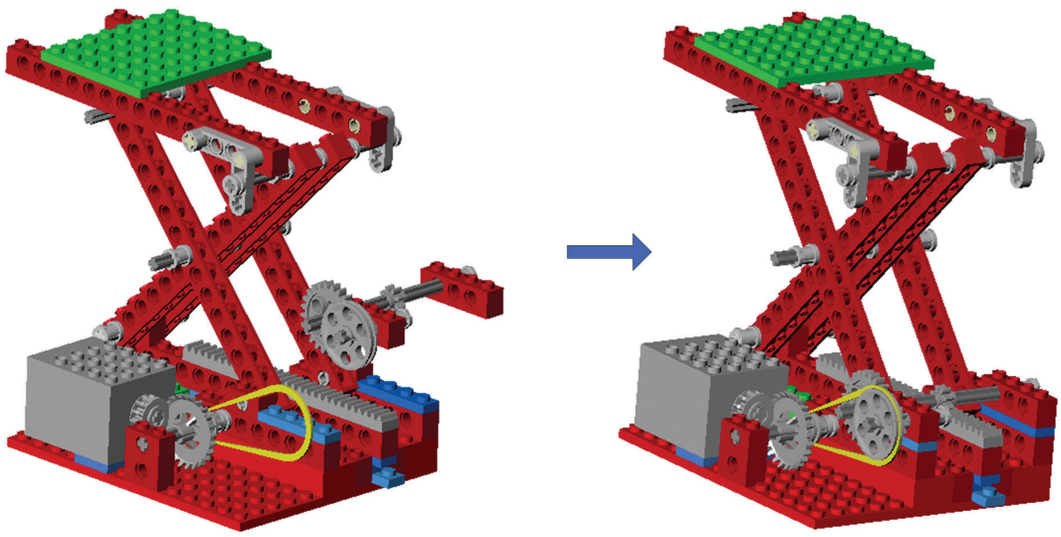


图 4.32　灭火升降台的组装过程

如果将自己制作的小风扇固定在安装平台上，灭火升降台的组装便大功告成。你可以用手旋转电机轴，试试升降台是否能顺利上下运动。



探究尝试

1. 图 4.27 中升降台臂是哪种传动机构？你能举出日常生活中与之相似的结构吗？如果想要该台臂的上升高度更大，可以采用哪些方法？

2. 图 4.32 中电机的旋转运动是怎么被转换成风扇平台的升降运动的？都用到了前面介绍的哪些机构？采用皮带传动的作用是什么？



实践活动

小制作——灭火风扇

首先选择一个 500 mL 的饮料瓶，并从瓶口处剪断，如图 4.33(a) 所示。

按照图 4.33(b) 所示的形状及尺寸在纸上绘制出 3 片风扇叶，将其对称地粘贴到剪断的饮料瓶上。沿着画线将瓶子多余的部分剪掉，如图 4.33(c) 所示。

用热水（约 80℃）将叶片的根部烫软，将 3 个扇叶向外翻折。翻折过程中，要保证 3 个扇叶的夹角方向要相同，扇叶与水平面夹角 30°，如图 4.33(d) 所示。

找一块橡皮，裁剪后塞进瓶口里，用回形针在橡皮塞中心部打一个孔，如图 4.33(e) 所示。

微信公众号：电子课本大全

将电机轴插入橡皮孔中。把电机与电池连接，试一下电扇的风向及风力，若风向和风力有问题，可调整各叶片的折角。

将制作好的风扇安装到升降台上，灭火升降台（图 4.27）的制作即告完成。

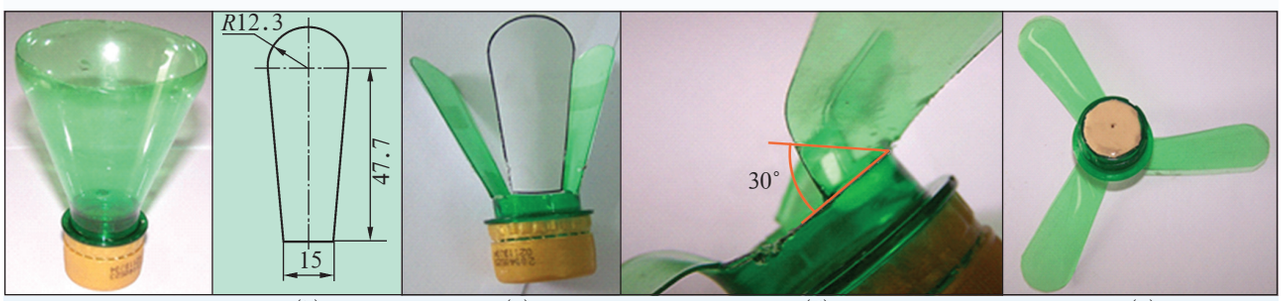


图 4.33　灭火风扇的制作过程（单位：mm）



探究尝试

1. 讨论一下，风扇的转向和转速是否重要？风扇叶片的翻折角度与电机的旋转方向有什么关系？

2. 在升降台适当的地方安放一个接触传感器作为行程限位开关，把控制器分别与继电器模块和行程开关连接，再把自制电风扇安装在风扇平台上，并编制一个程序，让电机旋转。升降台动起来了吗？检查它是否能在你预想的高度停下来。

二、抓球机械手

人类的双手就是一个既灵巧又复杂的执行机构，可以完成抓、夹、握、拨、捏等操作，以至于目前还没有研制出完美的替代品。在工业自动化生产线上，机械手是一种常见的执行机构。机械手的形状各异，功能也各不相同，但有一个共同的特点是能将物体从甲地点搬移到乙地点。在这一方面，它们与人手完成的功能是一样的，不过结构要简单一些。鉴于机械手的重要性，下面我们就来制作一个抓球机械手。该机械手的操作任务在第一章项目设置中已经表述清楚，请同学们依照表 4.1 的形式讨论制订抓球机械手的设计方案。图 4.34 为抓球机械手的一种结构设计选择，其组装步骤如下：

第一步：请按照图 4.35 中左边提供的零件组装成右图所示的机械手手指。

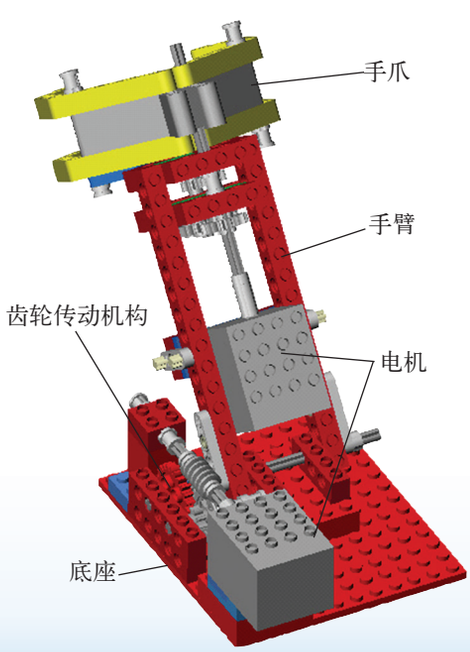


图 4.34　抓球机械手

微信公众号：电子课本大全

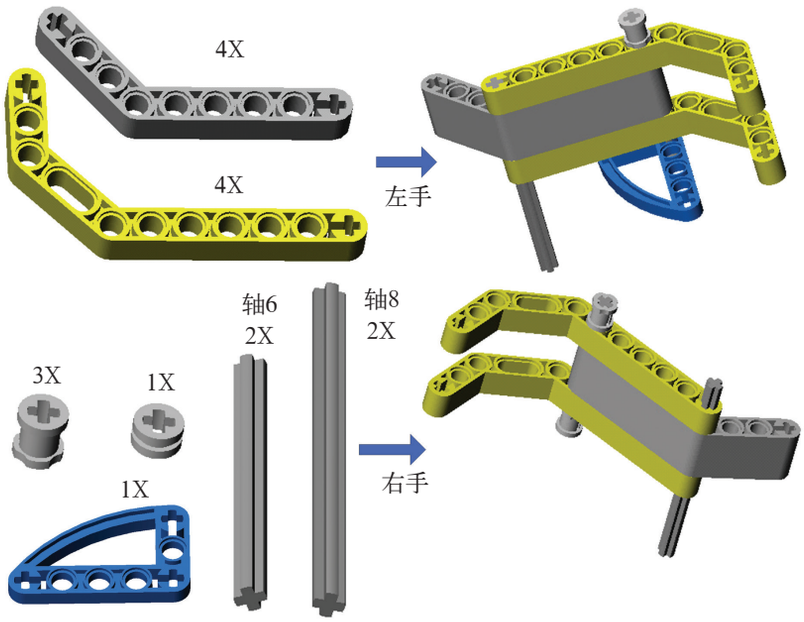


图 4.35　机械手手指安装方法

第二步：完成了左右手指的组装后，再按图 4.36 所示的方法将它们组装成机械手的手爪。

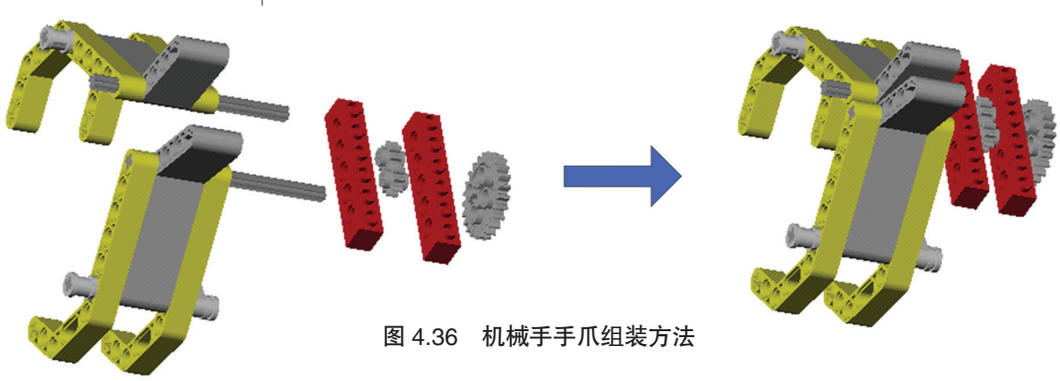


图 4.36　机械手手爪组装方法

该手爪中应用了齿轮传动中两个相互啮合齿轮转向相反的原理，恰好使两手指可以合拢和张开。

第三步：请按照图 4.37 中左边提供的零件组装成右图所示的机械手臂。

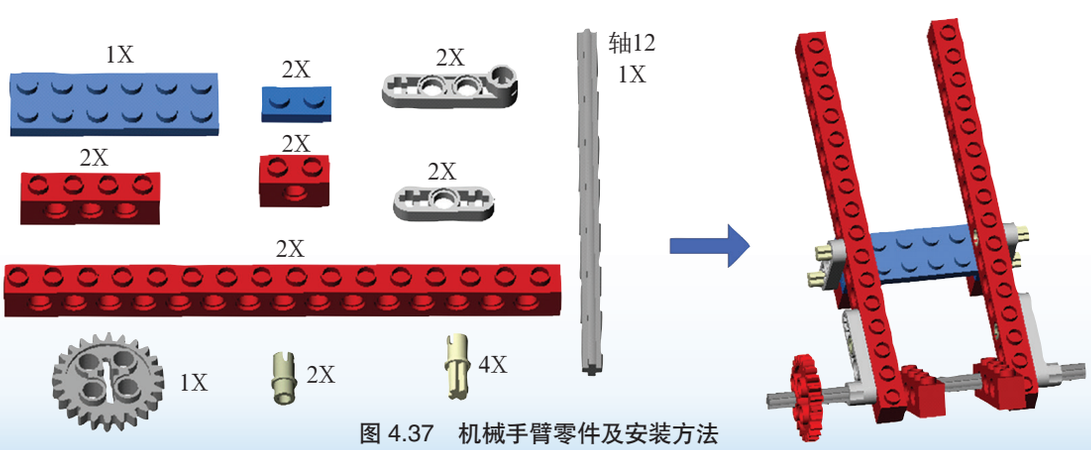


图 4.37　机械手臂零件及安装方法

微信公众号：电子课本大全

第四步：请按照图 4.38 中左边提供的零件组装成右图所示的机械手底座。

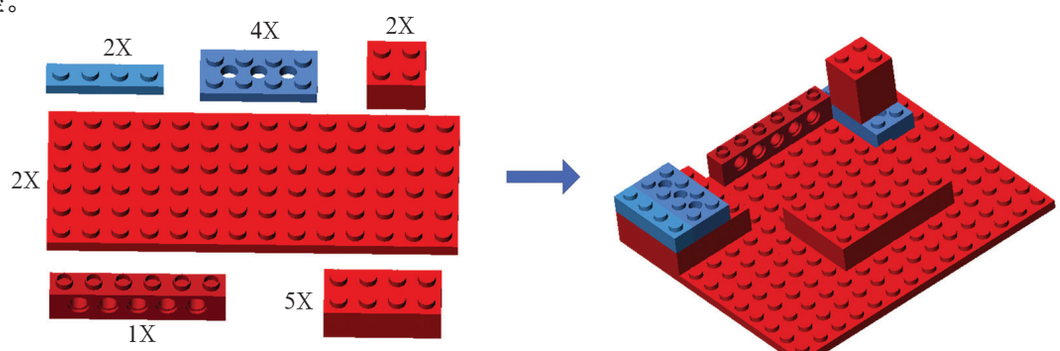


图 4.38　机械手底座零件及安装方法

第五步：完成了机械手手爪、手臂和底座的组装，下面我们可以将其组合起来得到机械手了。请按照图 4.39 中左边提供的零件组装成右图所示的机械手。

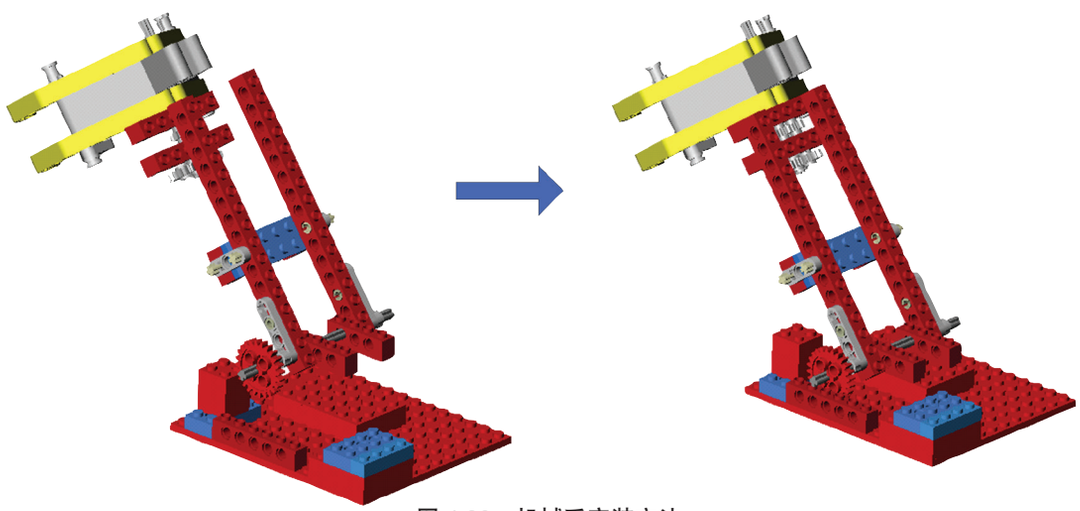


图 4.39　机械手安装方法

机械手安装完成以后还不能运动，必须给其安装驱动装置与传动装置。机械手一共要完成两个动作，即手臂的升降及手爪的开合，因此应该有两套传动机构。下面我们就分别组装这两套传动机构。

第六步：请按照图 4.40 中左边提供的零件组装成右图所示的手爪传动机构。

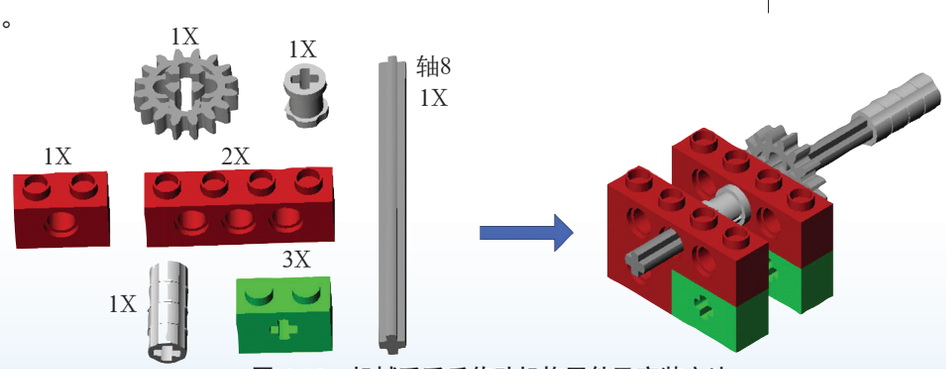


图 4.40　机械手手爪传动机构零件及安装方法

微信公众号：电子课本大全

第七步：请按照图 4.41 所示的安装方法分别将机械手臂传动机械的蜗轮机构和蜗杆机构组装起来。

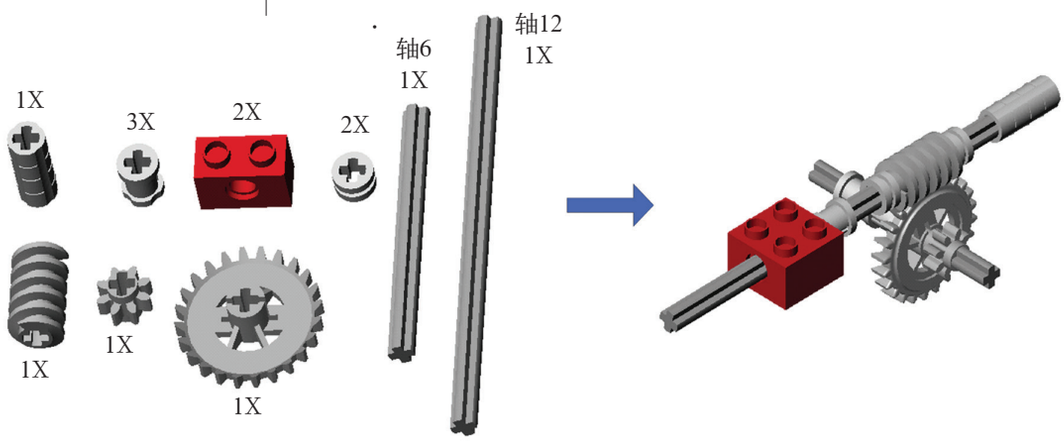


图 4.41　蜗轮蜗杆传动机构零件及组装方法

第八步：将以上两组传动机构安装到机械手上就可以使我们的机械手运动起来了。按照图 4.42 所示的安装方法将其组装好。

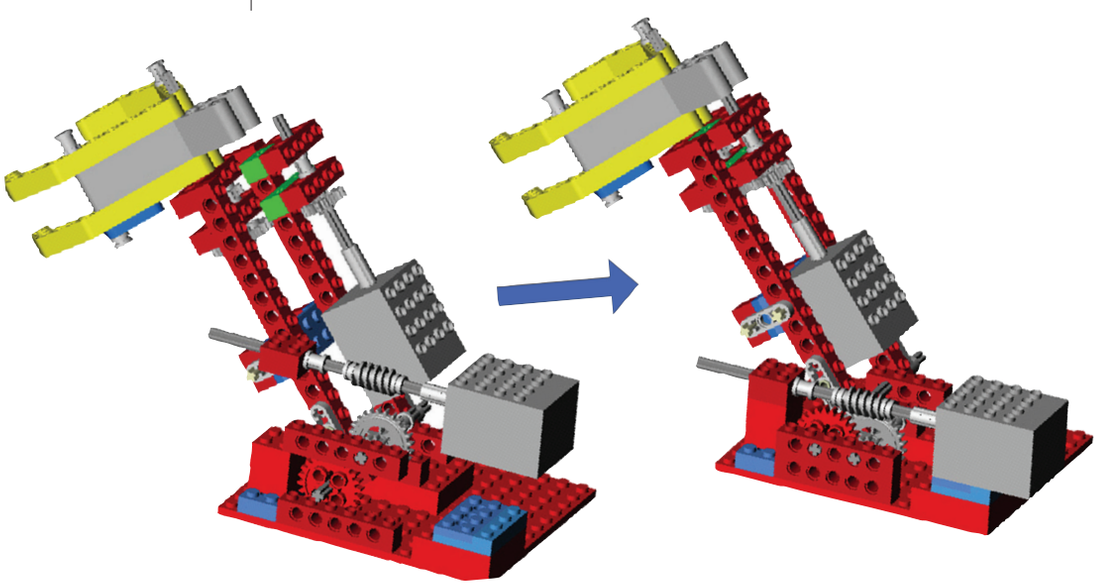


图 4.42　机械手的传动机构安装方法

至此，机械手终于组装完成了。用手轻轻旋转电机轴，机械手能动起来吗？



探究尝试

1. 电机的旋转运动是怎么转变成机械手臂的升降运动的？都用到了前面学过的哪些机构？

2. 用一个接触传感器作为机械手升降的行程限位开关，再把控制器分别与继电器模块和行程开关连接，你能编制一个程序控制机械手拾起一个乒乓球吗？

微信公众号：电子课本大全

阅读材料

机器人移动载体

灭火升降台和抓球机械手是对人类手臂动作和功能的模拟和扩展，移动机构是对人类行走功能的模拟和扩展。

机器人移动机构主要有 3 种形式：轮式、履带式、腿足式。

轮子是人类最伟大的发明之一，轮式移动机构是最常见的机器人移动机构。常见的轮式移动机构有三轮和四轮两种。图 4.43 为三轮移动机构的几种形式。对照本教材第一章中制作的小车（图 1.14），它正是图 4.43(a) 所示的前三点移动机构，即两个驱动轮在前，辅助轮在后，起导向和稳定支撑的作用。图 4.44 为四轮移动机构的两种形式，图 4.44(a) 的特点是可以原地转弯，图 4.44(b) 就是传统的汽车后桥驱动方式。

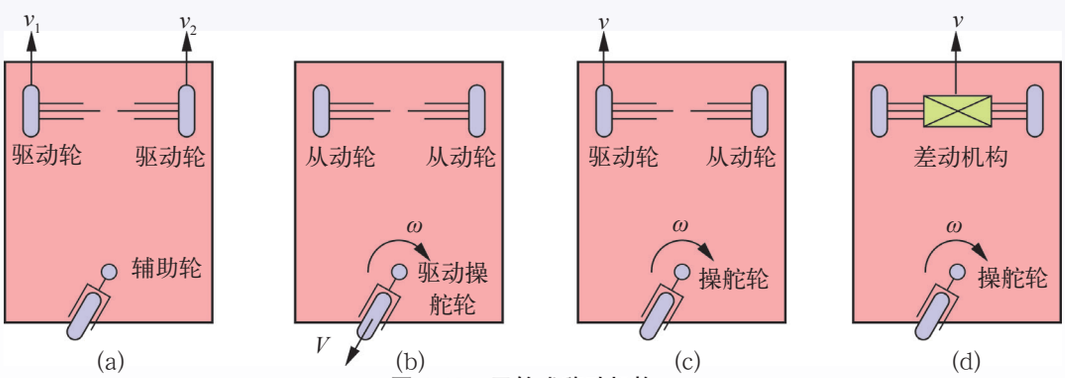


图 4.43　三轮式移动机构

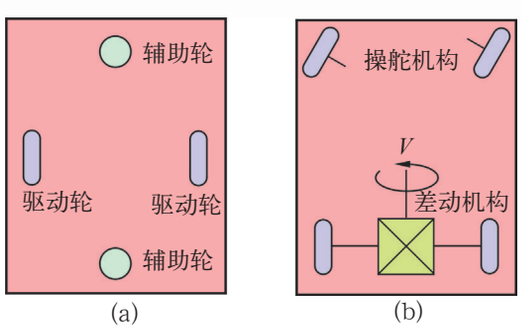


图 4.44　四轮式移动机构

履带式移动机构的突出特征是将履带卷绕在多个车轮上，车轮不直接与路面接触，相当于一种为自己铺路的轮式移动机构。履带可以缓冲路面状态，因此可以在更苛刻的路面下行驶。最常见的履带式移动机构有坦克、挖掘机等。

腿足式行走机器人也就是所谓的步行机器人。腿足式行走机构从外表上看更像人或动物。腿足式行走机器人的特长是跨越，因此能在凹凸不平的地上行走，跨沟越壑，上下台阶等，具有较广的适应性。常见的腿足式移动机构有两足式、四足式、六足式等。图 1.7(b) 为四足式机器狗。图 1.19(a) 为两足拟人机器人在踢足球。

微信公众号：电子课本大全

图 4.45 是一个用积木块搭建的简易六足步行机器人，其原理如图 4.46 所示。可以看出，它的每条腿都采用曲柄摇杆机构。电机通过驱动大齿轮和皮带轮，使着地的连杆摆动，6 条腿有序地摆动便使机器人向前迈步。而齿轮啮合的作用是将电机的速度降下来，大齿轮及皮带轮还同时充当曲柄。

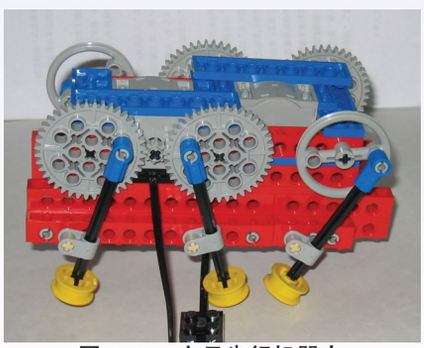


图 4.45　六足步行机器人

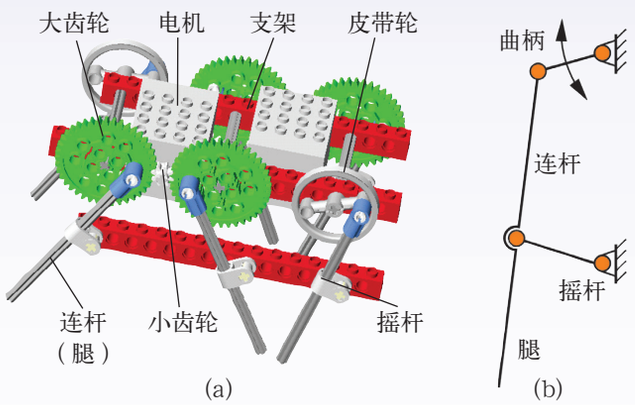
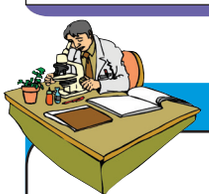


图 4.46　六足步行机器人原理图



探究尝试

1. 轮式、履带式和腿足式 3 种移动机构各有特点。试从结构复杂性、地面适应性、稳定性、可控性几方面对 3 种移动方式进行比较，并完成下表：

移动机构形式		结构复杂性	地面适应性	稳定性	可控性
轮式	三轮				
	四轮				
履带式					
足式	两足				
	多足				

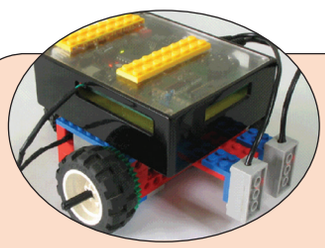
2. 在第一章组装的简易机器人小车采用了三轮移动机构（图 1.14 等），由双前轮驱动，辅助后轮起到支撑和导向作用，2 个直流电机通过一对啮合齿轮分别驱动左右轮。若 2 个电机都以 400 r/min 的速度旋转，大小齿轮的齿数分别是 40 和 8，轮胎的直径为 50 mm，你能计算出小车的移动速度吗？电机与轮胎的传动比是多少？

微信公众号：电子课本大全



活动延伸

1. 参照图 4.45 和图 4.46 搭建一个六足步行机器人，接上控制器并编程，使其行走起来。
2. 在六足步行机器人的基础上，自己设计并组装一个简易四足步行机器人。



本　章　小　结

机器人的机械系统由驱动装置、传动装置、执行机构和机体四大部分组成，其中驱动装置提供动力，传动装置用于传递动力和运动或者改变运动的形式，执行机构完成特定的作业任务，机体则承载了各组成部分。

机器人机械系统中，传动装置既可以把单一运动变化成多种运动方式，也可以改变输出力及力矩的大小和方向，因此其结构形式比较复杂，设计和制作最富有创意。齿轮传动、连杆传动、链传动等是日常生活中常见的传动形式。

单独使用齿轮几乎没有实际的用处。一般至少需要两个齿轮方可完成运动或力传递。一对相互啮合齿轮的角速度之比称为传动比。如果一对齿轮或一个轮系的传动比大于 1，该系统被称为减速系统；若传动比小于 1，则称为加速系统。齿轮有一个有趣的现象：加速系统中速度提高而输出力矩会减小，速度降低则输出力矩会增大。

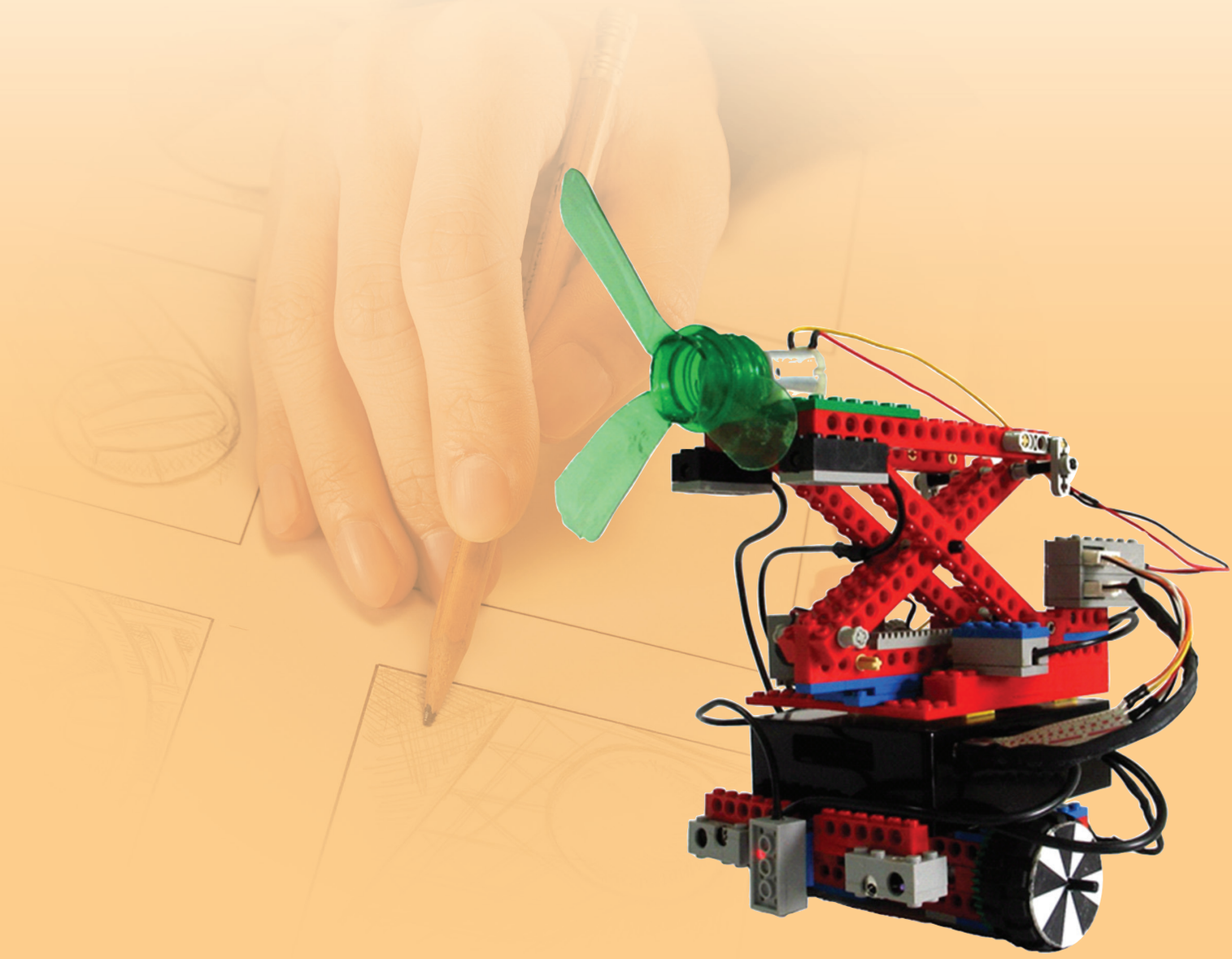
连杆机构由若干个刚性杆件通过转动关节、移动关节连接而成。如果构件上每个点的运动平面相互平行，则称为平面连杆机构。连杆机构的特点是重量轻，可完成长距离的运动及力的传递，能实现转动、摆动、滑动等运动形式的相互转换。

本章搭建了灭火升降台及抓球机械手两套机器人机械系统，其设计制作流程包括：①明确任务与要求；②方案制订与论证；③搭建与制作；④调试。

微信公众号：电子课本大全

第五章　简易机器人的制作与编程

本章我们将针对第一章提出的“高台灭火机器人”和“巡线运球机器人”两个简易机器人设计制作项目，充分利用前面各个章节讲述的相关软硬件知识，分别动手组装两种机器人，并在详细分析机器人动作的基础上给出相关程序流程图和相应的程序清单。同学们应该参考程序举例，充分动脑动手，并发挥团队的协作精神，让制作出的简易机器人顺利地完成任务。



微信公众号：电子课本大全

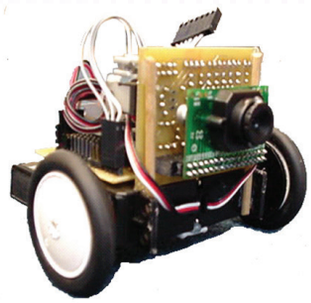
第一节　高台灭火机器人的制作与编程

学习导航

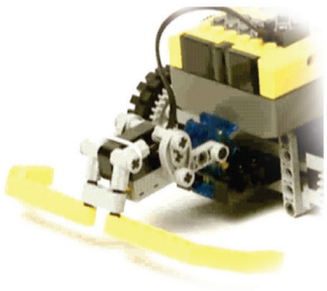
1．如何设计并制作一个完整的高台灭火机器人？

2．针对机器人所要完成的具体任务，怎样制订相应的程序流程图并用 C 语言编程？

现象与问题



摄像头



限位开关



红外测障传感器

机器人避障可以采用摄像头捕获外界图像信息来判断障碍物，不过这需要高速的处理器才有可能实现；也可以采用类似昆虫触须形式的接触传感器，当遇到障碍时“触须”就会感觉到；另一种方式是采用红外测障传感器来感知周围的障碍物。

讨论：

1．以上 3 种避障方式各有什么优缺点？

2．如果用红外测障传感器实现高台灭火机器人避障，应采用多少个传感器为佳？如何布置？

在第一章里，已经给出了高台灭火机器人的场地、规则、功能分解及设计方案（表 1.3）。制作和实现高台灭火机器人面临的技术难点包括：寻找火源的策略、避障的方法、准确刹车定位、升降台快速上升到指定高度。下面我们将从机械和控制两个方面来解决以上问题，达到设定的目标。

一、高台灭火机器人的制作

从表 1.3 中可知，为了顺利完成避障灭火的全部动作，机器人的机械结构设计中需要一个升降台、电动风扇以及搭载它们的移动小

微信公众号：电子课本大全

表 5.1　灭火机器人输入输出定义

输入输出器件	安装位置	变量名或函数名	变量或参数类型	通道编号	取值范围	说明
光敏传感器	升降台右前部	LightSeek1	整型	输入通道 0	0 ～ 255	光线越强，返回的数值越大
	升降台左前部	LightSeek2	整型	输入通道 1		
光电巡线传感器	移动小车前部	LineSeek	整型	输入通道 2	0 或 1	遇白色背景取值 0，遇黑色背景取值 1
限位开关	升降台	LimitSwitch	整型	输入通道 3	0 或 1	常态为 1，触发为 0
红外测障传感器	移动小车右前部	ObstacleSense1	整型	输入通道 4	0 或 1	有障碍取值为 0，无障碍取值为 1
	移动小车左前部	ObstacleSense2	整型	输入通道 6		
电机	右车轮	Motor(0，x)	整型	电机通道 0	-100 ～ +100	绝对值越大，速度越快，正负代表转向
	左车轮	Motor(1，x)	整型	电机通道 1	-100 ～ +100	绝对值越大，速度越快，正负代表转向
	升降台	Motor(2，x)	整型	电机通道 2	-100，0，+100	分别代表电机反转、停止、正转
	灭火风扇	Motor(3，x)	整型	电机通道 3	-100，0，+100	分别代表电机反转、停止、正转

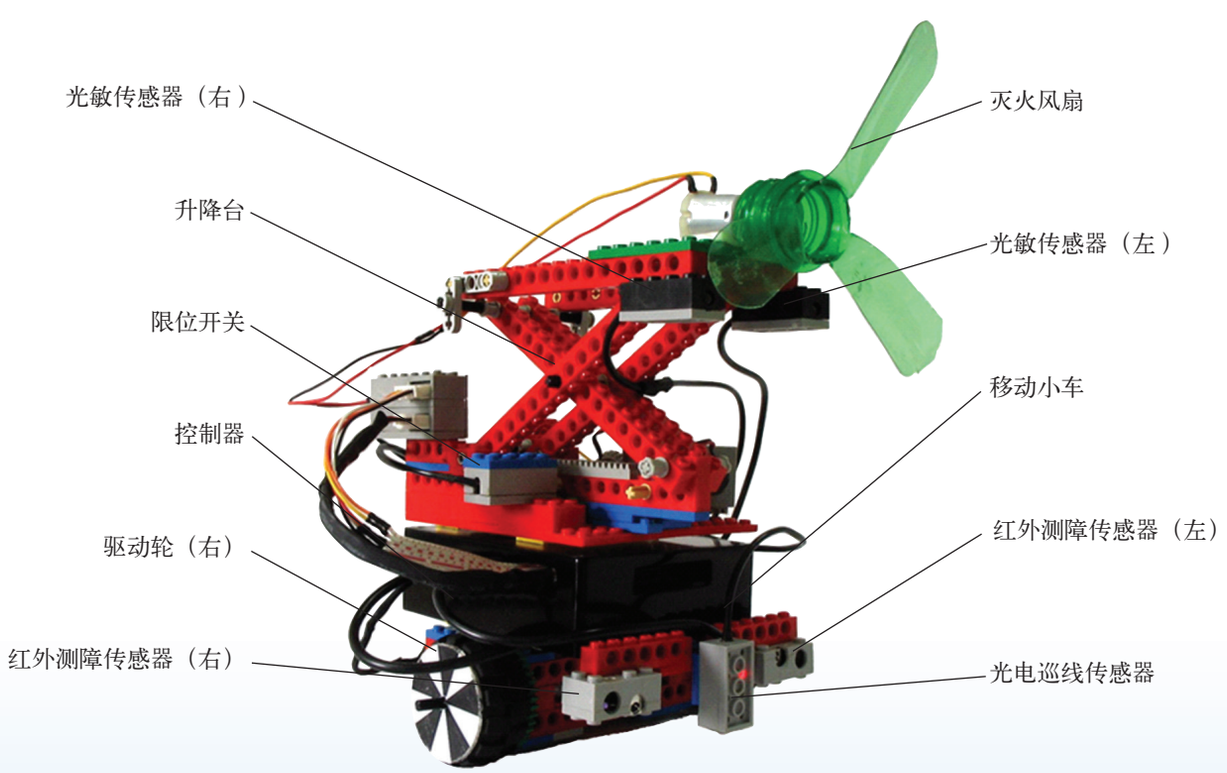


图 5.1　高台灭火机器人全貌

微信公众号：电子课本大全

车；控制系统当然少不了机器人的“大脑”——控制器，以及相应的感知器件——传感器。

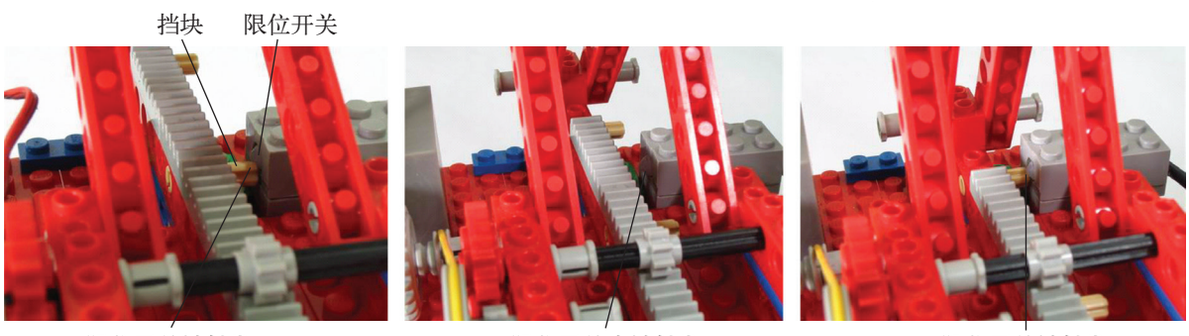
大家准备好了吗？不用着急，其实在第一章和第四章中我们已经分别搭建过移动小车和升降台两个子系统，这里只要将它们与控制系统组装在一起就可以了。图 5.1 为组装完毕的高台灭火机器人全貌。表 5.1 给出了高台灭火机器人中所用到的输入输出元器件及其在程序中对应的变量名、函数名以及与控制器连接的通道编号，应保证它们与控制器连接的正确性。

在组装过程中希望同学们注意以下几点：

（1）控制器与所有外部设备（电机、传感器等）的连接应正确可靠，外接导线应避免挂带。

（2）调整好高台灭火机器人重心的位置，并在机器人行进过程中确保升降台处于初始位置（收起状态）。

（3）受结构限制，升降台只能安装一个限位开关，因此两个挡块的位置要恰当调整，确保升降台在下降位置和升起后的设定位置准确触发限位开关（图 5.2）。此法还少用了一个限位开关，节省了硬件费用。



(a) 升降台初始位置　(b) 升降台中间位置　(c) 升降台升起位置

图 5.2　升降台升降位置与限位开关触发状态



探究尝试

1. 为了达到寻找火源的最佳效果，两个光敏传感器（图 5.3）的安装高度应在何处？左右安装距离（L_1）的最佳值应是多少？

2. 机器人为何采用两个红外测障传感器？只用一个可以吗？两个传感器之间的安装距离（L_b）应如何确定？

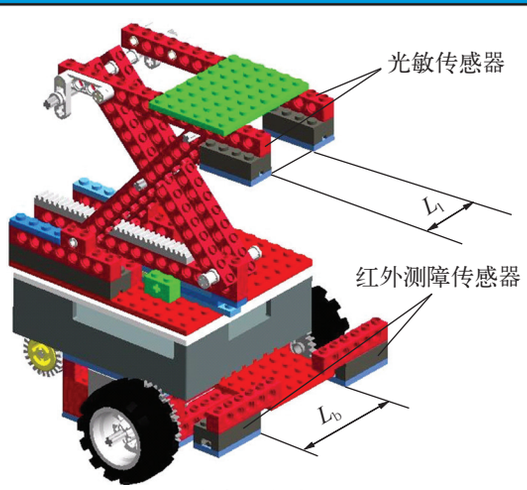


图 5.3　传感器安装位置

微信公众号：电子课本大全

二、高台灭火机器人的编程

组装好机器人后同学们一定跃跃欲试，想让机器人立即运动起来，一显身手。不过，机器人必须有正确的程序控制才能完成预定的任务。下面我们就根据高台灭火任务要求编制它的控制程序。

机器人高台灭火任务分解及程序流程图

根据高台灭火任务的需要，可以将机器人的功能分为两个模块，即灭火模块与寻火源避障模块，而寻火源避障模块又包含寻火源、左转避障、右转避障以及后退避障 4 个子模块。将上述模块按照一定逻辑关系环环相扣便形成一段完整的控制程度（程序清单 5.1），对应的流程如图 5.4 所示。机器人在未到达火源禁区前（即光电巡线传感器检测值 LineSeek ≠ 1），一直试图避开障碍物并趋近火源，最终到达火源边缘黑色扇形禁区线处停止，将火源扑灭。

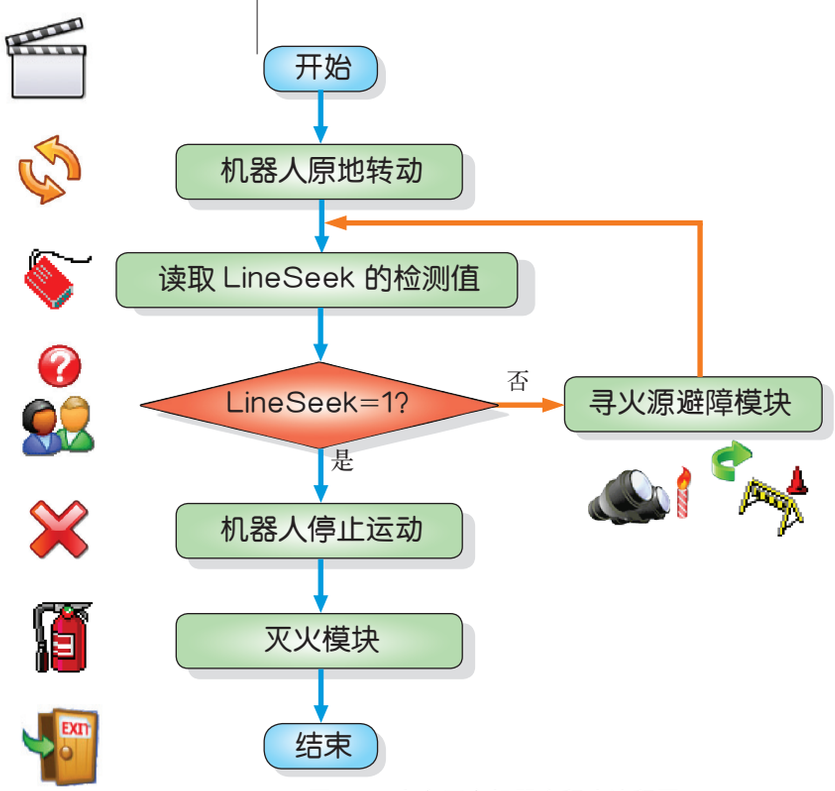


图 5.4　高台灭火机器人程序流程图



探究尝试

在机器人的模块划分中，为何将寻火源和避障动作都归并在一个模块中？可以将它们分开吗？

机器人功能模块程序流程图及程序清单

灭火模块、寻火源避障模块、寻火源子模块、左转避障子模块、右转避障子模块以及后退避障子模块都是由一些基本动作组合而成的，下面逐一介绍这些模块的程序流程图。

微信公众号：电子课本大全

程序清单 5.1

```
1   void  main( )                          // 主函数
    {
        int LineSeek;                      // 前部光电巡线传感器变量
                                           // 机器人原地转动
5       Motor(0, -100);                    // 右驱动轮电机反转
        Motor(1, -100);                    // 左驱动轮电机反转
        for( ; )                           // 无限循环
        {
            LineSeek=SwitchI(2);           // 读取光电巡线传感器检测值
10          if(LineSeek==1)                // 判断是否检测到火源边缘黑色禁区线
            {                              // 检测到火源边缘黑色禁区线
                Motor(0, 0);               // 右驱动轮电机刹车
                Motor(1, 0);               // 左驱动轮电机刹车
                Delay(500);                // 延时 500 ms
15              break;                     // 跳出无限循环
            }
            else                           // 未检测到火源边缘黑色禁区线
            {
                SeekAvoid( );              // 寻火源避障模块
20          }
        }
        FireOut( );                        // 灭火模块
    }
```

1. 灭火模块

灭火模块流程如图 5.5 所示，程序见清单 5.2。当机器人在火源扇形禁区线上停止后，灭火模块的功能是将升降台升起到指定高度，随之启动风扇吹灭火焰，延时一段时间后关闭风扇，并经光敏传感器确认后让升降台复位，流程图中的 V_g 是光敏传感器的阈值。

程序清单 5.2

```
1   void  FireOut( )                       // 灭火模块
    {
        int LightSeek1;                    // 右前部光敏传感器变量
        int LightSeek2;                    // 左前部光敏传感器变量
5       int LimitSwitch;                   // 升降台限位开关变量
```


微信公众号：电子课本大全

```
        Motor(2，100)；                    // 升降台电机正转
        Delay(1000)；                      // 延时 1 000 ms
        for(；；)                          // 无限循环
        {
10          LimitSwitch=SwitchI(3)；       // 读取升降台限位开关检测值
            if(LimitSwitch==0)             // 比较限位开关状态，判断升降台是否上升到极限位置
            {                          // 升降台上升到极限位置
                Motor(2，0)；              // 升降台电机刹车停止
                break；                    // 跳出无限循环
15          }
        }
        for(；；)                          // 无限循环
        {
            Motor(3，−100)；               // 灭火风扇电机反转
20          Delay(2500)；                  // 延时 2 500 ms
            Motor(3，0)；                  // 灭火风扇电机刹车停止
            Delay(2500)；                  // 延时 2 500 ms
            LightSeek1=SwitchI(0)；        // 读取右光敏传感器检测值
            LightSeek2=SwitchI(1)；        // 读取左光敏传感器检测值
25          if(LightSeek1<10)              // 比较右光敏传感器检测值是否小于阈值
            {                              // 右光敏传感器检测值小于阈值
                if(LightSeek2<10)          // 比较左光敏传感器检测值是否小于阈值
                {                          // 左光敏传光器检测值小于阈值，火源被扑灭
                    break；                // 跳出无限循环
30              }
            }
        }
        Motor(2，−100)；                   // 升降台电机反转
        Delay(500)；                       // 延时 500 ms
        for(；；)                          // 无限循环
35      {
            LimitSwitch=SwitchI(3)；       // 读取升降台限位开关检测值
            if(LimitSwitch==0)             // 比较限位开关状态，判断升降台是否下降到极限位置
                {                          // 升降台下降到极限位置
                    Motor(2，0)；          // 升降台电机刹车停止
40                  break；                // 跳出无限循环
                }
        }
    }
```


微信公众号：电子课本大全

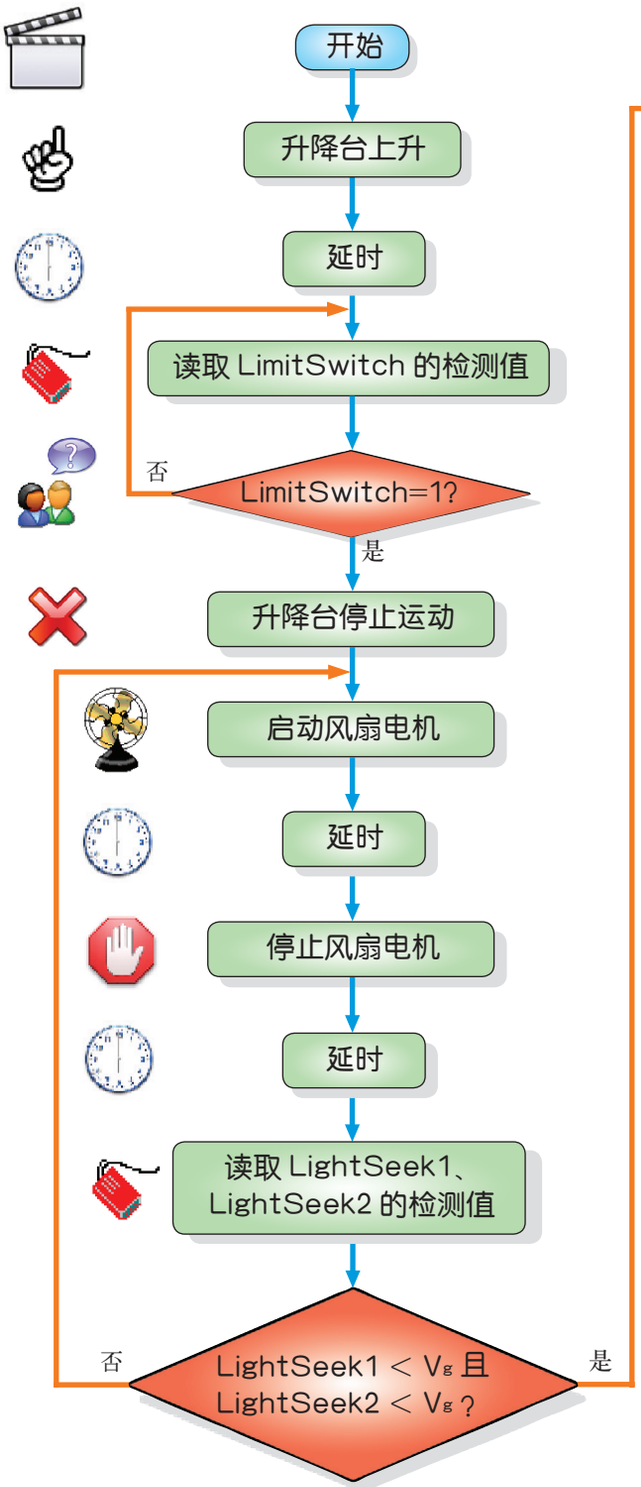


图 5.5　灭火模块程序流程图



探究尝试

1. 实验中，如果火源的高度低于升降台达到上极限位置时风扇的高度，有什么办法可以让风扇在中途停止对准火源？

2. 灭火模块程序在风扇吹风灭火阶段，风扇吹一段时间后先停止，经延时一段时间后再读取光敏传感器的检测值来判断火焰是否熄灭，为什么？同学们可以尝试不采用这段延时，看看效果如何。

2．寻火源避障模块

寻火源避障模块的主要功能是寻找火源的具体方位并趋近火源。在此过程中当机器人的红外测障传感器发现障碍后应该采取相应的策略绕开障碍，最终到达火源禁区线。无论是在机器人初始运动时，还是在执行寻火源模块动作的过程中，都应首先检测红外测障传感器的

微信公众号：电子课本大全

状态。如发现周围存在障碍则采取相应的策略绕开障碍物，而后再趋近火源。这种方法酷似盲人巡铃（图 5.6），在根据对铃声的判断选择路线的过程中，应首先探知身前的障碍物并设法绕开，防止跌倒。寻火源避障模块流程如图 5.7 所示，程序见清单 5.3。

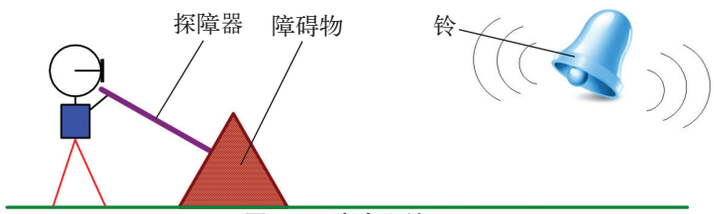


图 5.6　盲人巡铃

图 5.7　寻火源避障模块程序流程图

程序清单 5.3

```
1   void  SeekAvoid( )                  // 寻火源避障模块
    {
        int ObstacleSense1;             // 右前部红外测障传感器变量
        int ObstacleSense2;             // 左前部红外测障传感器变量
5       ObstacleSense1=SwitchI(4);      // 读取右红外测障传感器检测值
        ObstacleSense2=SwitchI(6);      // 读取左红外测障传感器检测值
        if(ObstacleSense1==1)           // 判断右红外测障传感器是否检测到障碍
        {                               // 右红外测障传感器未检测到障碍
            if(ObstacleSense2==1)       // 判断左红外测障传感器是否检测到障碍
10          {                           // 左红外测障传感器也未检测到障碍（右方无障碍）
                FireSeek( );            // 寻火源模块
            }
```


微信公众号：电子课本大全

```
                else                        // 左红外测障传感器检测到障碍（右方无障碍）
                {
15                  RightAvoid( );          // 右转避障
                }
            }
            else                            // 右红外测障传感器检测到障碍
            {
20              if(ObstacleSense2==1)       // 判断左红外测障传感器是否检测到障碍
                {                           // 左红外测障传感器未检测到障碍（右方有障碍）
                    LeftAvoid( );           // 左转避障
                }
                else                        // 左红外测障传感器检测到障碍（右方有障碍）
25              {
                    BackAvoid( );           // 后退避障
                }
            }
        }
```

3. 寻火源子模块

寻火源子模块是根据左右光敏传感器的检测值是否大于阈值来判断火源的方位。由于环境光的影响，判断火源的有无首先应确定一个阈值（或称为临界值）V_g，只有当光敏传感器的测量值 $V > V_g$ 时，才认为检测到真实的火源。表 5.2 中给出了一组 V_g 的参考值，供参考。

表 5.2　光敏传感器阈值 V_g 参考值

环境条件	V_g 参考值（数字量）
夜晚黑暗	5 ~ 20
夜晚（打开日光灯）	10 ~ 30
阴天 （拉上窗帘）	30 ~ 50
白天（拉上窗帘）	50 ~ 70
白天（日光强烈）	——

机器人寻火源模块的流程见图 5.8，程序在清单 5.4 中。机器人在寻找火源时，只有两个光敏传感器的检测值均大于 V_g，才认为发现真正的火源，否则机器人以原地转动方式继续寻找火源。当机器人确

微信公众号：电子课本大全

认发现火源后，随即向光敏传感器 LightSeek1 和 LightSeek2 中检测值较大的方向转变，以便趋近火源。

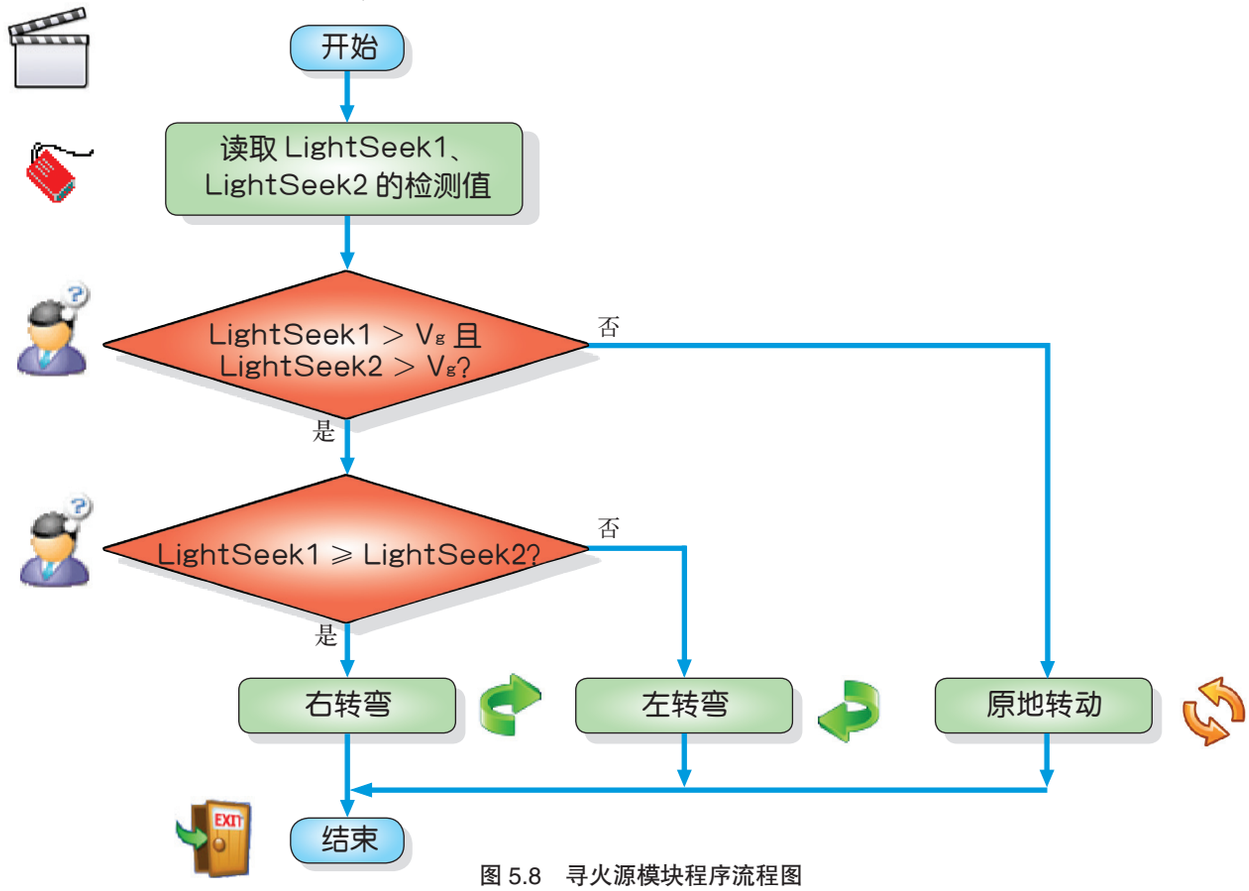


图 5.8　寻火源模块程序流程图

程序清单 5.4

```
1  void  FireSeek( )                    // 寻火源子模块
    {
          int LightSeek1;               // 右前部光敏传感器变量
          int LightSeek2;               // 左前部光敏传感器变量
5         LightSeek1=ADI(0);            // 读取右光敏传感器检测值
          LightSeek2=ADI(1);            // 读取左光敏传感器检测值
          if(LightSeek1>30)             // 判断右光敏传感器检测值是否大于阈值
          {                             // 右光敏传感器检测值大于阈值
                if(LightSeek2>30)       // 判断左光敏传感器检测值是否大于阈值
10              {                       // 左光敏传感器检测值大于阈值
                                        // 判断右光敏传感器检测值是否大于等于左光敏传感器
                if(LightSeek1>=LightSeek2)
                {                       // 右光敏传感器检测值大于等于左光敏传感器，右转弯
```


微信公众号：电子课本大全

```
                Motor(0，−20)；    // 右驱动轮电机慢速反转
15              Motor(1，80)；     // 左驱动轮电机快速正转
            }
            else                  // 右光敏传感器检测值小于左光敏传感器，左转弯
            {
                Motor(0，−80)；    // 右驱动轮电机快速反转
20              Motor(1，20)；     // 左驱动轮电机慢速正转
                }
        }
        else                      // 左光敏传感器检测值小于阈值，原地转动
        {
25          Motor(0，−80)；    // 右驱动轮电机反转
            Motor(1，−80)；    // 左驱动轮电机反转
        }
    }
    else                          // 右光敏传感器检测值小于阈值，原地转动
30  {
        Motor(0，−80)；           // 右驱动轮电机反转
        Motor(1，−80)；           // 左驱动轮电机反转
    }
}
```



探究尝试

1. 表 5.4 中给出的参考阈值是将传感器测量环境光的值加 10 ～ 20 后得到的，它们与实际环境及具体的传感器都有关。请同学们通过实验测出自己所用光敏传感器在实验环境中的值，并修正表中的参考阈值。

2. 机器人在寻找火源时，为什么只有两个光敏传感器的检测值均大于 V_g，才认为发现了真正的火源？如果只有一个大于 V_g 可以吗？

4．左转避障子模块

由于机器人前部安装了两个红外测障传感器，其检测值有 4 种组合，从而衍生出 3 种避障的策略（表 5.3）。不管在右前方、左前方还是正前方发现障碍，机器人都采取相应的策略试图绕过障碍物。以左转避障程序流程（图 5.9）为例，其理想的运动执行情况如图 5.10 所示，其程序见清单 5.5。右转避障与左转避障情况类似。

微信公众号：电子课本大全

表 5.3　机器人避障策略

红外测障传感器检测值		障碍方位	避障策略
ObstacleSense1（右）	ObstacleSense2（左）		
0	0	前方有障碍	后退避障
0	1	右前方有障碍	左转避障
1	0	左前方有障碍	右转避障
1	1	无障碍	保持运动状态

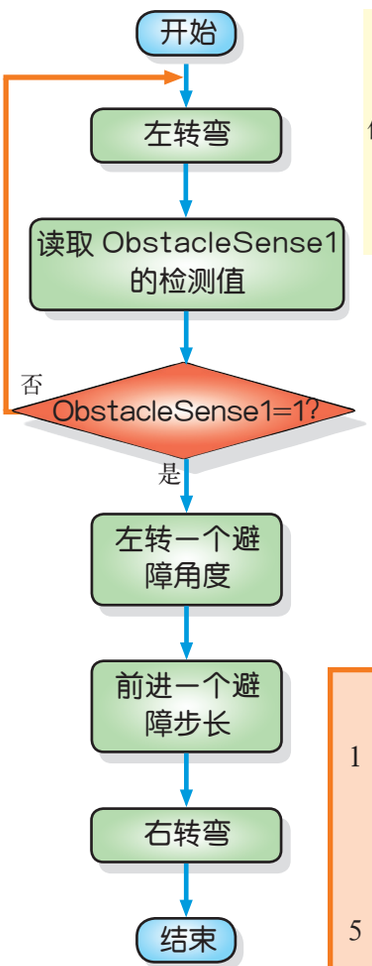
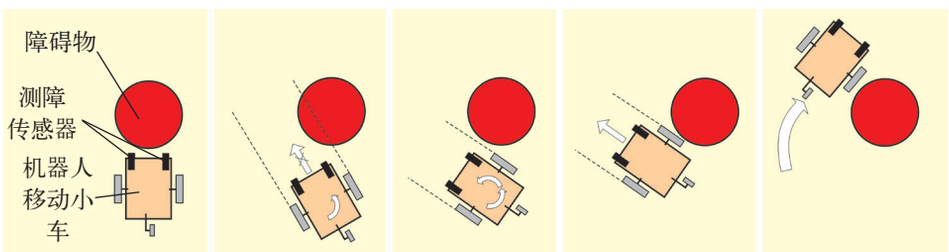


图 5.9　左转避障子模块程序流程图



(a) 发现障碍　(b) 左转避开障碍　(c) 继续左转　(d) 前进　(e) 右转

图 5.10　机器人左转避障过程

当机器人发现右前方有障碍时（ObstacleSense1=0，ObstacleSense2=1），首先向左方转弯直到 ObstacleSense1=1，由于受到移动小车车身宽度的制约，机器人需要继续左转一个避障角度后再前进一个避障步长，最后机器人向右转弯成功避开障碍物。避障角度和避障步长可以根据实际情况经调试后选取，推荐避障角度大约 15°，避障步长大约为车身长度的一半。

程序清单 5.5

```
1   void  LeftAvoid( )                    // 左转避障子模块
    {
          int ObstacleSense1;             // 右前部红外测障传感器变量
          for(；；)                       // 无限循环
5         {
                                          // 读取右红外测障传感器检测值
        ObstacleSense1=SwitchI(4);
        if(ObstacleSense1==1)             // 判断右红外测障传感器是否
                检测到障碍
10      {                                 // 右红外测障传感器未检测到
                障碍，再左转一个避障角度
          Motor(0，−80);                  // 右驱动轮电机反转
          Motor(1，−80);                  // 左驱动轮电机反转
          Delay(250);                     // 延时 250 ms
15        break;                          // 跳出无限循环
```


微信公众号：电子课本大全

```
                }
                else                        // 右红外测障传感器检测到障碍，左转弯
                {
                        Motor(0，−80)；     // 右驱动轮电机反转
20                      Motor(1，−80)；     // 左驱动轮电机反转
                }
            }
                                            // 前进一个避障步长
        Motor(0，−80)；                     // 右驱动轮电机反转
25      Motor(1，80)；                      // 左驱动轮电机正转
        Delay(1200)；                       // 延时 1 200 ms
                                            // 机器人右转弯
        Motor(0，80)；                      // 右驱动轮电机正转
        Motor(1，80)；                      // 左驱动轮电机正转
30      Delay(100)；                        // 延时 100 ms
    }
```

5．后退避障子模块

后退避障的程序（图 5.11）比较简单，程序见清单 5.6，动作执行情况如图 5.12 所示。

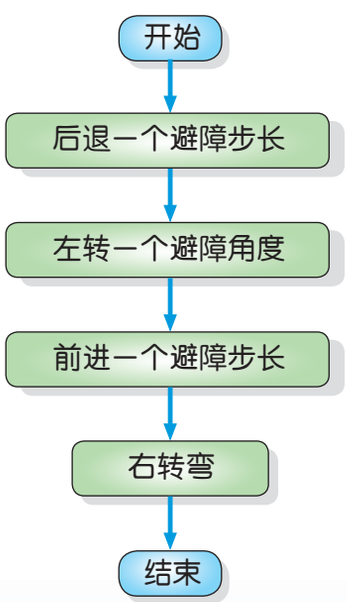
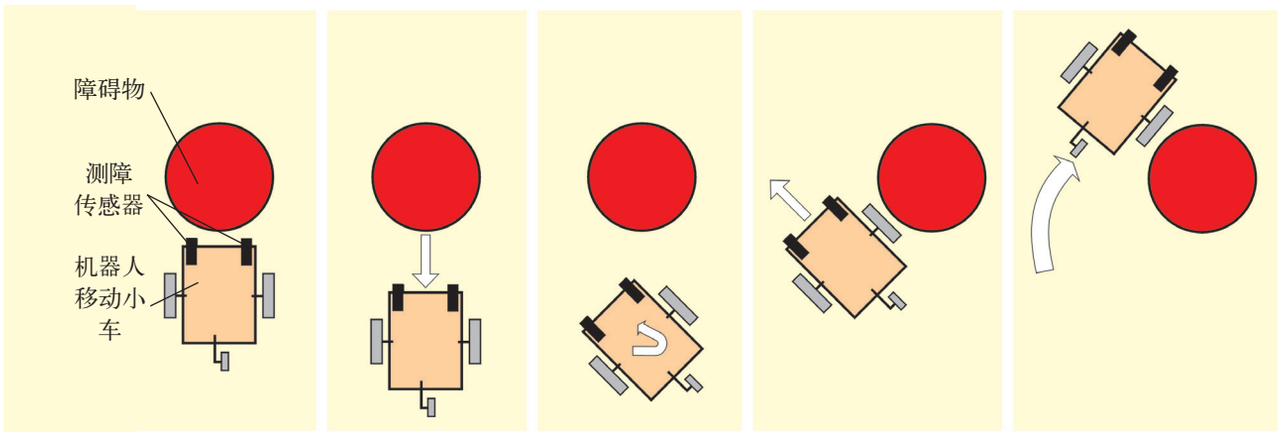


图 5.11　后退避障子模块程序流程图

程序清单 5.6

```
1   void  BackAvoid( )          // 后退避障子模块
     {
                                // 后退一个避障步长
        Motor(0，50)；          // 右驱动轮电机正转
5       Motor(1，−50)；         // 左驱动轮电机反转
        Delay(1 000)；          // 延时 1 000 ms
                                // 左转一个避障角度
        Motor(0，−80)；         // 右驱动轮电机反转
        Motor(1，−80)；         // 左驱动轮电机反转
10      Delay(500)；            // 延时 500 ms
                                // 直线行进
        Motor(0，−100)；        // 右驱动轮电机反转
        Motor(1，100)；         // 左驱动轮电机正转
        Delay(500)；            // 延时 500 ms
15                              // 机器人右转弯
        Motor(0，80)；          // 右驱动轮电机正转
        Motor(1，80)；          // 左驱动轮电机正转
        Delay(100)；            // 延时 100 ms
    }
```


微信公众号：电子课本大全



(a) 发现障碍　(b) 后退避开障碍　(c) 左转　(d) 前进　(e) 右转

图 5.12　机器人后退避障过程



探究尝试

1. 请同学们仿照左转避障子模块设计右转避障子模块的程序流程图，并编写程序。

2. 在后退避障子模块中，机器人检测到障碍后为什么要先后退一个步长？该动作可以省掉吗？

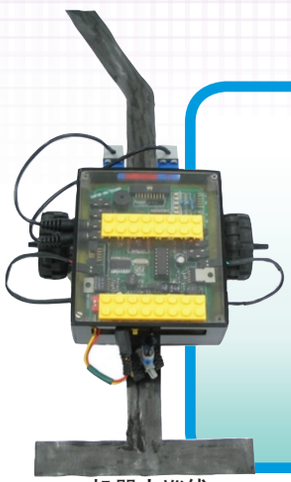
3. 在后退避障子模块中，左转一个避障角度时采用了延时的办法，这种办法有何缺点？如果依靠查询避障传感器的值实现避障，如何编程？

微信公众号：电子课本大全

第二节　巡线运球机器人的制作与编程

学习导航

1．如何设计并制作一个完整的巡线运球机器人？
2．针对巡线运球任务，怎样制订机器人的程序流程图？
3．用 C 语言如何编制机器人的控制程序？



机器人巡线

现象与问题

在前面章节，我们介绍简易机器人小车沿黑色引导线运动时，都采用两个光电巡线传感器测量值的组合来实现巡线。

讨论：

1．机器人只用一个光电巡线传感器能实现巡线运动吗？

2．采用两个光电巡线传感器时，其安装间距对巡线效果有影响吗？这个间距应大于、小于还是等于黑色引导线的宽度？

第一章已经给出了巡线运球机器人的规则和场地（图 1.18）。作为第一章第三节的“活动延伸”，曾要求同学们仿照教科书中针对灭火机器人进行的功能分解、方案制订和论证（表 1.3），找出巡线运球机器人应该具有的功能、解决办法，制定设计细节及具体的方案。同学们都认真地完成了吗？表 5.4 给出了一个具体解决方案。当然同学们也可以提出自己认为更合理的方案。

简单地说，制作和实践巡线运球机器人面临的技术难点是：在巡线阶段能否达到速度与跟踪准确性的平衡；在目的地两端点的 T 形线位置能否准确地刹车定位；机械臂和手爪的动作能否恰到好处地将乒乓球拾起或放下；能否准确地原地转向 180°。下面仍从机械和控制两个方面来解决以上问题，达到设定的目标。

一、巡线运球机器人的制作

从表 5.4 可知，为了完成巡线和拾放球的所有动作，在机器人的结构方面需要一个抓球机械手以及一辆搭载它的移动小车；控制系统需要一个控制器及相关的传感器。在第一章和第四章中我们已经分别

微信公众号：电子课本大全

表 5.4　巡线运球机器人设计方案

功能		解决办法	应考虑的设计细节	具体方案
沿黑色引导线快速前行		移动小车及光电巡线传感器	载体类型：轮式、履带或步行，小车运动控制、移动速度，传感器个数、安装位置、阈值设定	前三点轮式小车，双前轮驱动，电机调速，两个光电巡线传感器检测值组合决定跟踪方向
在球架、球库附近准确定位			检测 T 形线	
沿黑线多次往返		车体原地转向 180°	后转定位的准确度	两个光电巡线传感器控制实现转向
取放乒乓球	接近乒乓球	手臂机构抬放	驱动方式、功率、抬放角度限位	电机启、停及方向控制，限位开关（接触传感器）控制
	夹持乒乓	手爪；空吸附	驱动方式、功率	利用电机的延时，让一对齿轮反向转动，开合手爪

搭建过移动小车以及抓球机械手这两个子系统，这里只要将它们与控制系统组装在一起就可以了。图 5.13 为组装完毕的巡线运球机器人全貌。表 5.5 给出了这个机器人中所用到的输入输出元器件及其在程序中对应的变量名、函数名，以及与控制器连接的通道编号，应保证它们与控制器连接的正确性。

表 5.5　巡线运球机器人输入输出定义

输入输出元器件	安装位置	变量名或函数名	变量或参数类型	通道编号	取值范围	说明
光电巡线传感器	小车左前部	LineSeek1	整型	输入通道 0	0 或 1	遇白色背景取值 0，遇黑色背景取值 1
	小车右前部	LineSeek2	整型	输入通道 1		
限位开关	机械臂	LimitSwitch	整型	输入通道 3	0 或 1	常态为 1，触发为 0
电机	右车轮	Motor(0，x)	整型	电机通道 0	−100 ～ +100	绝对值越大则速度越快，正负代表转向
	左车轮	Motor(1，x)	整型	电机通道 1	−100 ～ +100	绝对值越大则速度越快，正负代表转向
	机械臂	Motor(2，x)	整型	电机通道 2	−100，0，+100	分别代表电机反转、停止、正转
	手爪	Motor(3，x)	整型	电机通道 3	−100，0，+100	分别代表电机反转、停止、正转

在组装过程中，希望同学们注意以下几点：

（1）传动系统调试：各个传动系统搭建完毕后都应当先用手动方式尝试一下传动是否顺畅、轻巧，体验一下有无阻塞或松动。满意后再接入电机，编写一小段程序再通电调试，以确保万无一失。

微信公众号：电子课本大全

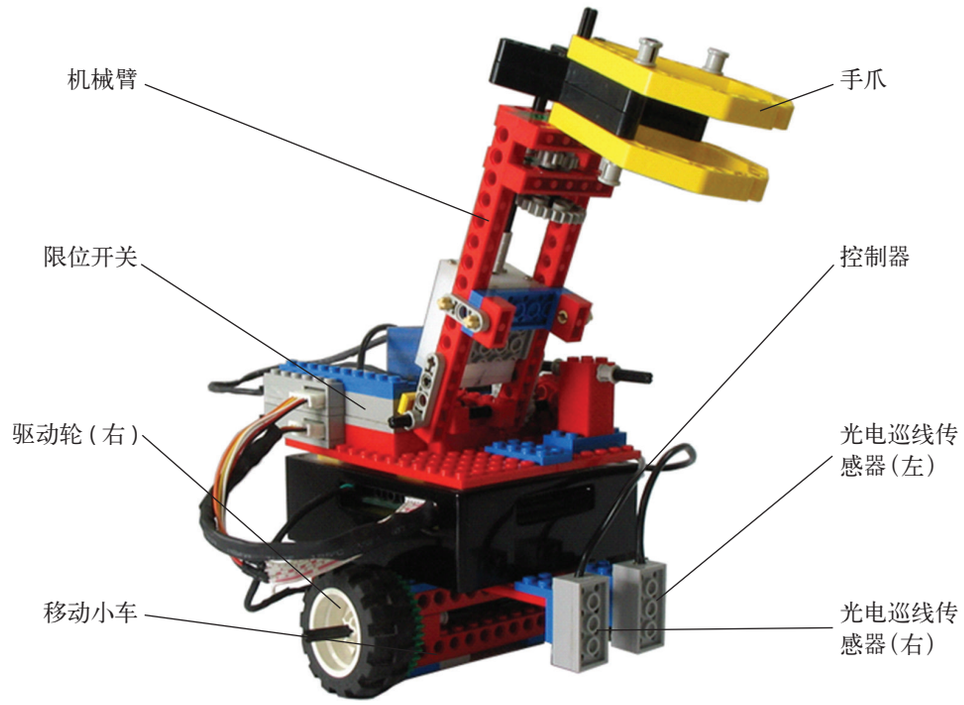
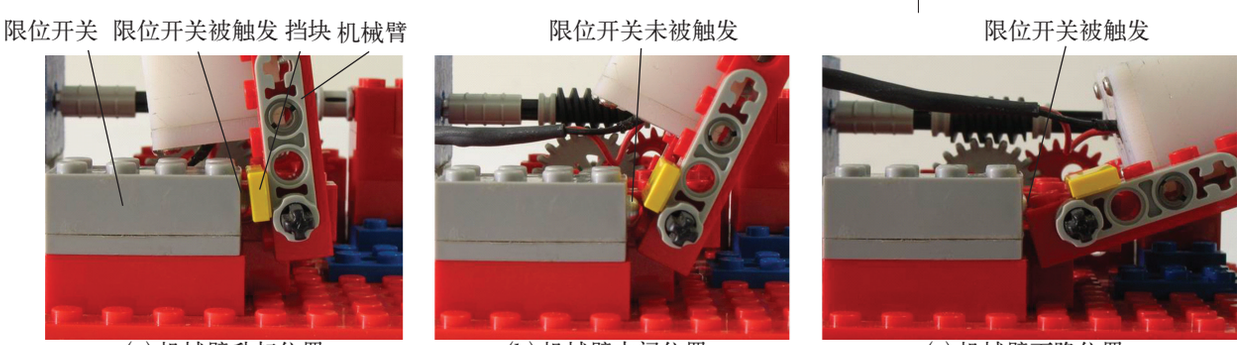


图 5.13　巡线运球机器人全貌

（2）巧用机械臂限位开关：如果适当地调整挡块的安装位置，就能用一个限位开关感知机械臂升起和下降的两个极限位置，控制电机的启停（图 5.14）。



(a) 机械臂升起位置　(b) 机械臂中间位置　(c) 机械臂下降位置

图 5.14　机械臂升降位置与限位开关触发状态

（3）控制器与所有外部设备（电机、传感器等）的连接应正确可靠，外接导线应避免挂带。



探究尝试

1. 对于我们搭建的机器人，其重心对运动稳定性的影响是不容忽视的。试分析机器人重心的前后位置应在图 5.15 中 *a*、*b*、*c* 哪个位置最佳？重心的高低又对机器人运动有什么影响？有哪些手段可以调节机器人的重心位置？

微信公众号：电子课本大全

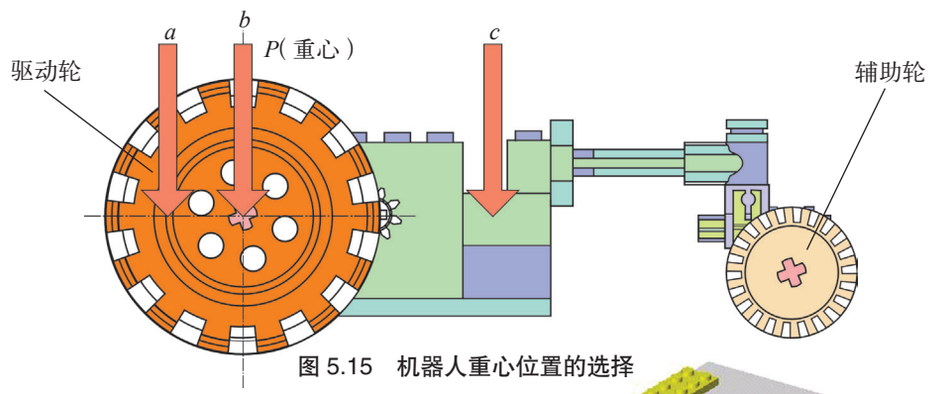


图 5.15　机器人重心位置的选择

2. 机器人上采用两个光电巡线传感器，推荐的安装位置是在车体前部距离驱动轮的轴线约 50 mm，它们的间隔应略大于引导黑线的线宽 25 mm（图 5.16）。以上两个参数的变化对机器人巡线效果会造成什么影响？如何确定这两个参数？

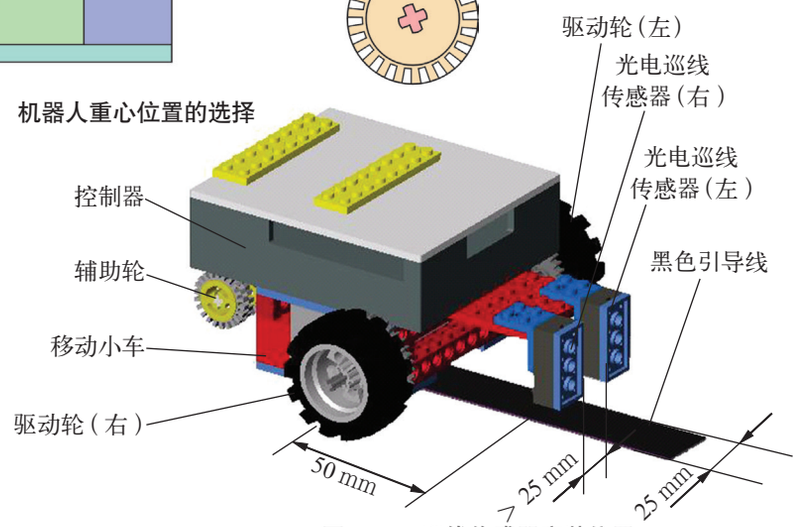


图 5.16　巡线传感器安装位置

二、巡线运球机器人的编程

现在我们面对的任务是巡线运球，比较复杂，所以必须首先制定适当的策略，进而对所涉及的动作进行分解和归类，编写完整的程序，让机器人具有对外部环境的感知、判断和决策能力，即赋予机器人智能。



小 资 料

人工智能

通常智能被理解为在客观世界中解决问题的能力。广义来讲，人工智能是用计算机模拟并执行人类的智能活动，使机器能够在各种环境中自主地或者人机交互式地执行各种任务。人工智能的近期目标是研究用机器来模仿和执行人脑的某些智力功能，凡是使机器具有感知（如视、听、嗅）、思维（如分析、综合、计算、判断、推理、联想）、表达（如说、写、画）以及学习记忆等功能的研究，都属于人工智能的范畴。简易机器人也具有某种意义上的人工智能，因为它能够借助传感器感知外界环境，通过编程进行“思维”，最后完成预定的任务。

微信公众号：电子课本大全

机器人巡线运球任务分解及程序流程图

根据巡线运球任务的需要，可以将机器人的功能分为 4 个模块：巡线模块、取球模块、放球模块以及后转模块。将 4 个模块按照一定逻辑关系环环相扣便形成一段完整的控制程序，构成图 5.17 所示的程序流程图。根据规则，机器人重复巡线运球动作，到达规定时间后再手动停止。同学们可以看到这个流程还是比较简单的，相信大家都能顺利地完成。

机器人的功能模块程序流程图及程序清单

程序清单 5.7

```
1   void  main( )                  // 主函数
    {
        for(;;)                    // 无限循环使机器人重复巡线运球动作
        {
5           LineSeek( );           // 巡线模块
            BallFetch( );          // 取球模块
            Rollback( );           // 后转模块
            LineSeek( );           // 巡线模块
            BallPlaces( );         // 放球模块
10          Rollback( );           // 后转模块
        }
    }
```



探究尝试

1. 上述程序中机器人动作模块划分的标准是什么？是否还有其他的划分方法？

2. 如果想要机器人到达规定时间后自动停止，请问该如何编程？

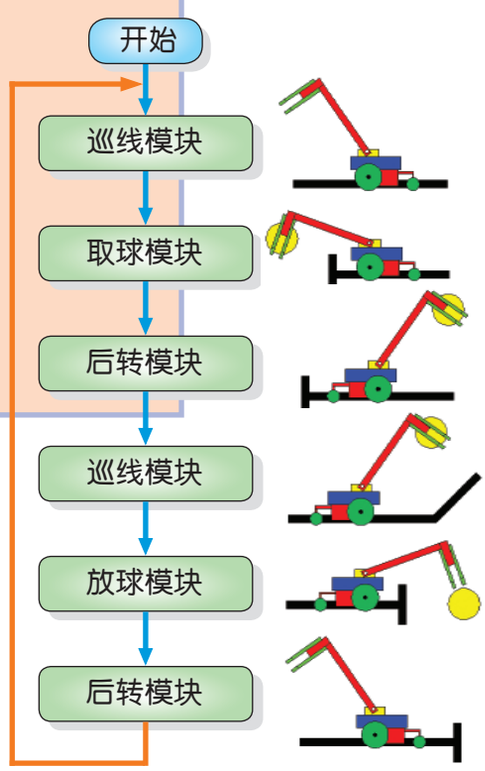


图 5.17　巡线运球机器人程序流程图

巡线模块、取球模块、放球模块以及后转模块都是由一些基本动作组合而成的，下面逐一介绍这 4 个功能模块的程序流程图。

1. 后转模块

后转模块就是让机器人原地旋转 180°。这个动作相对比较简单，只需设置两个驱动轮等速反向运动即可。机器人后转时首先后退一定的距离以躲避附近的障碍物，而后设置两个驱动轮等速率反向运动，并不断查询、比较两个光电巡线传感器的状态，直到某个传感器的读数为 1，则认为已经原地旋转 180°，最后机器人停止转动。图 5.18 为后转模块程序流程图，程序见清单 5.8。

微信公众号：电子课本大全

程序清单 5.8

```
1   void  Rollback( )                  // 后转模块
    {
      int LineSeek1;                   // 左光电巡线传感器变量
      int LineSeek2;                   // 右光电巡线传感器变量
5                                      // 机器人后退
      Motor(0, 100);                   // 右驱动轮电机正转
      Motor(1, -100);                  // 左驱动轮电机反转
      Delay(200);                      // 延时 200 ms
                                       // 机器人原地转动
10    Motor(0, 100);                   // 右驱动轮正转
      Motor(1, 100);                   // 左驱动轮正转
      Delay(400);                      // 延时 400 ms
      for(;;)                          // 无限循环
      {
15        LineSeek1=SwitchI(0);// 读取左光电巡线传感器检测值
          LineSeek2=SwitchI(1);// 读取右光电巡线传感器检测值
          if(LineSeek1==1)             // 判断左光电巡线传感器是否
                                       // 检测到黑色引导线
          {                            // 左光电巡线传感器检测到黑色引导线
20            break;                   // 跳出无限循环
          }
          if(LineSeek2==1)             // 判断右光电巡线传感器是否检测到
                                       // 黑色引导线
          {                            // 右光电巡线传感器检测到黑色引导线
25        break;                       // 跳出无限循环
          }
      }
                                       // 机器人停止运动
      Motor(0, 0);                     // 右驱动轮停止转动
30    Motor(1, 0);                     // 左驱动轮停止转动
       }
```

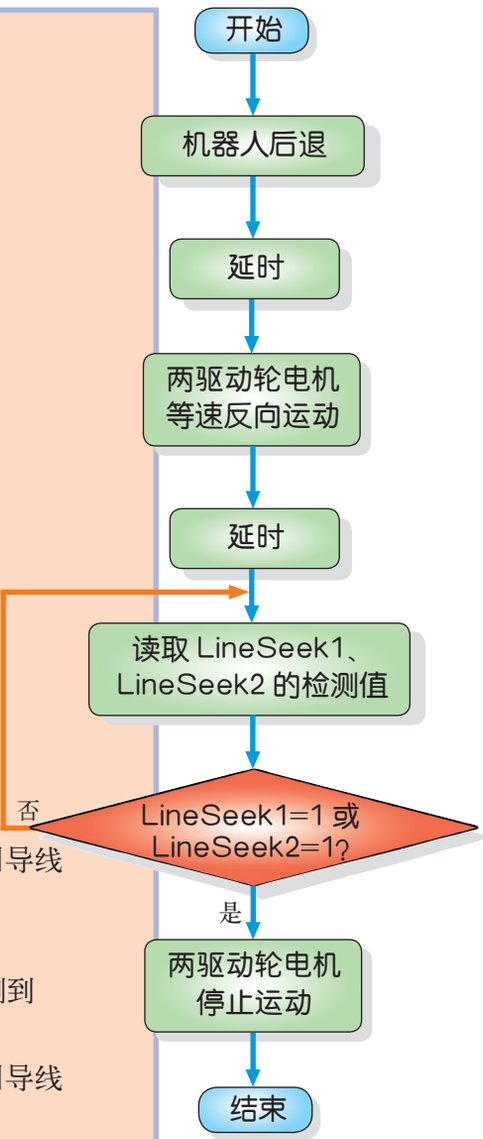


图 5.18　后转模块程序流程图



探究尝试

以上程序中可否仅借助延时来完成机器人后转的动作？此时的程序流程图又应该如何设计呢？会有什么缺点？

微信公众号：电子课本大全

2．取球模块与放球模块

取球模块与放球模块的程序流程图类似，下面着重介绍取球模块程序流程（图 5.19）和程序清单 5.9。

取球模块中手爪的打开与闭合是通过相应电机的正反转，并配合延时来实现的。延时时间不宜过长以免造成电机堵转而烧坏电机。由于机械臂的两个极限位置采用一个限位开关来感知，所以无论在上升还是下降的终点，都通过查询变量 LimitSwitch（限位开关）的状态来判断是否到达。

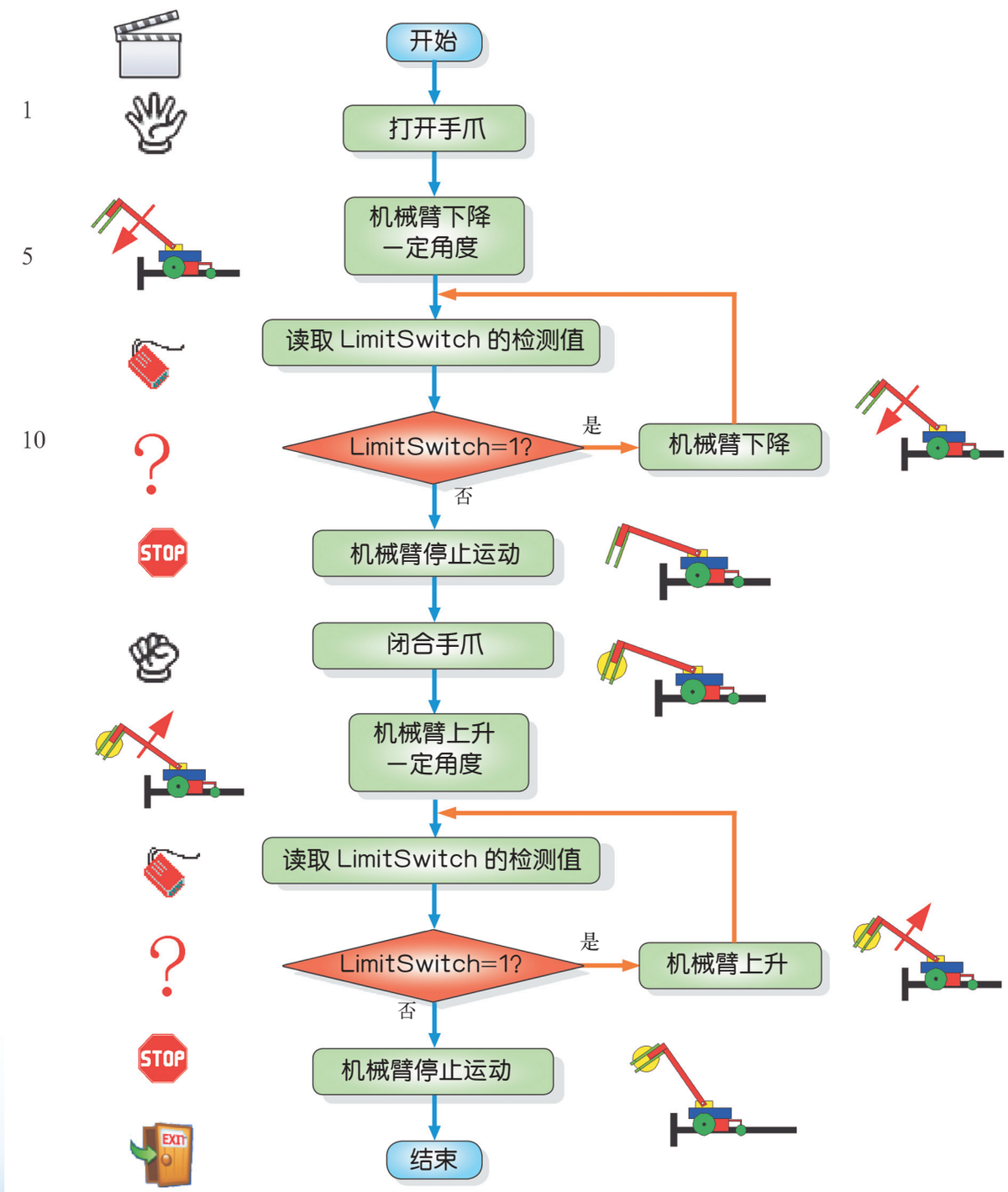


图 5.19　取球模块程序流程图

微信公众号：电子课本大全

程序清单 5.9

```
1   void  BallFetch( )                    // 取球模块
     {
        int LimitSwitch;                  // 机械臂限位开关变量
        Motor(3，−50);                    // 启动手爪电机反转打开手爪
5       Delay(200);                       // 延时 200 ms
        Motor(3，0);                      // 停止手爪电机
        Motor(2，−100);                   // 启动机械臂电机反转使机械臂下降
        Delay(600);                       // 延时 600 ms
        for(；；)                         // 无限循环
10      {
           LimitSwitch=SwitchI(3);        // 读取限位开关检测值
           if(LimitSwitch==1)             // 比较限位开关状态，判断机械臂是否下降到极限位置
            {
                   Motor(2，−100);        // 机械臂继续下降
15          }
            else
           {
                   Motor(2，0);           // 机械臂停止下降
                   Motor(3，100);         // 启动手爪电机正转闭合手爪
20                 Delay(300) ;           // 延时 300 ms
                   Motor(3，0);           // 停止手爪电机
                   break;                 // 跳出无限循环
           }
        }
25      Motor(2，100);                    // 启动机械臂电机正转使机械臂上升
        Delay(800);                       // 延时 800 ms
        for(；；)                         // 无限循环
        {
           LimitSwitch=SwitchI(3);        // 读取限位开关检测值
30         if(LimitSwitch==1)             // 比较限位开关状态，判断机械臂是否上升到极限位置
           {
                   Motor(2，100);         // 机械臂继续上升
           }
           else
35          {
                   Motor(2，0);           // 机械臂停止上升
                   break;                 // 跳出无限循环
```


微信公众号：电子课本大全

```
                }
            }
40          Motor(3,50);        // 启动手爪电机正转闭合手爪
            Delay(200);         // 延时 200 ms
            Motor(3,0);         // 停止手爪电机
        }
```



探究尝试

1. 在程序清单 5.9 的第 8 和第 26 行，都采用一条延时语句。请问这些延时语句在程序中起什么作用？如删掉它们，程序可能会出现什么故障？

2. 请同学们仿照取球模块设计放球模块的程序流程图，并编写程序。

3．巡线模块

顾名思义，巡线模块的作用是控制机器人沿着场地中标出的黑色引导线的轨迹运动，而且在检测到 T 形停止线后立即刹车。第三章已经介绍了移动小车利用两个光电巡线传感器来控制机器人巡线的原理，并给出了巡线的流程图（图 3.25）。这里结合流程图给出对应的控制程序（程序清单 5.10）。

程序清单 5.10

```
1   void LineSeek( )                    // 巡线模块
    {                                   // 左右驱动轮以同速反向运动，直线行进
        int  LineSeek1;                 // 左光电巡线传感器变量
        int  LineSeek2;                 // 右光电巡线传感器变量
5       Motor(0, -80);                  // 右驱动轮电机反转
        Motor(1, 80);                   // 左驱动轮电机正转
        for(;;)                         // 无限循环
        {
            LineSeek1=SwitchI(0);       // 读取小车左前部光电巡线传感器检测值
10          LineSeek2=SwitchI(1);       // 读取小车右前部光电巡线传感器检测值
            if(LineSeek1==1)            // 判断是否左侧光电巡线传感器检测到黑色引导线
            {                           // 左侧光电巡线传感器检测到黑色引导线
```


微信公众号：电子课本大全

```
                if(LineSeek2==1)        //判断是否右侧光电巡线传感器检测到黑色引导线
                {                       //右侧光电巡线传感器也检测到黑色引导线（遇T形线）
15                  Motor(0，6)；       //右驱动轮电机刹车停止
                    Motor(1，-6)；      //左驱动轮电机刹车停止
                    break；             //跳出无限循环
                }
                else                    //右侧光电巡线传感器未检测到黑色引导线
20              {                       //左转弯
                    Motor(0,-80)；      //右驱动轮电机反转
                    Motor(1,0)；        //左驱动轮电机刹车
                }
            }
25          else                        //左侧光电巡线传感器未检测到黑色引导线
            {
                if(LineSeek2==1)        //判断是否右侧光电巡线传感器检测到黑色引导线
                {                       //右侧光电巡线传感器检测到黑色引导线，右转弯
                    Motor(0，0)；       //右驱动轮电机刹车
                    Motor(1,80)；       //左驱动轮电机正转
30              }
                else                    //右侧光电巡线传感器未检测到黑色引导线
                {                       //直线行进
                    Motor(0,-80)；      //右驱动轮电机反转
                    Motor(1,80)；       //左驱动轮电机正转
35              }
              }
          }
      }
```



小 资 料

电机堵转

通过的电流越大，电机输出的转矩就越大。在电机运行的时候，如果加在电机轴上的负载大大超过最大转矩，就会造成停转，此现象称为电机堵转。这时通过电机的电流远远超过额定值，长时间堵转很容易造成电机或驱动电路烧毁，我们应该尽量避免。例如，巡线运球机器人中控制手爪开合的电机允许堵转时间约为 200 ms，不宜过长。

微信公众号：电子课本大全



探究尝试

1. 机器人在到达 T 形线时最简单的刹车方法是令两个驱动轮电机的速度为零。但如果机器人运动速度较快，这样做往往出现过冲现象，不利于机械手准确地抓取球架上的乒乓球。请问有什么方法可以杜绝机器人的过冲？编程看看实验效果。

2. 要选择适当的速度，才能使机器人在直线和弯道上均能沿着黑色引导线顺利前进。如何调整速度值？用实验加以验证。

三、简易机器人的调试

无论是巡线运球机器人还是高台灭火机器人，要想最终成功完成规定的任务都要经过一个关键的步骤——调试。实践是检验真理的唯一标准，同学们最初搭建的机器人结构是否合理，编写的程序是否正确，到真实场地上测试运行便可得出答案。调试过程是对同学们的智力、毅力、动手能力以及体力的综合考验。当大家看到经过自己艰辛调试的机器人终于运动起来，才会真正体会到成功的喜悦。下面给出一个调试过程的流程图（图 5.20）。

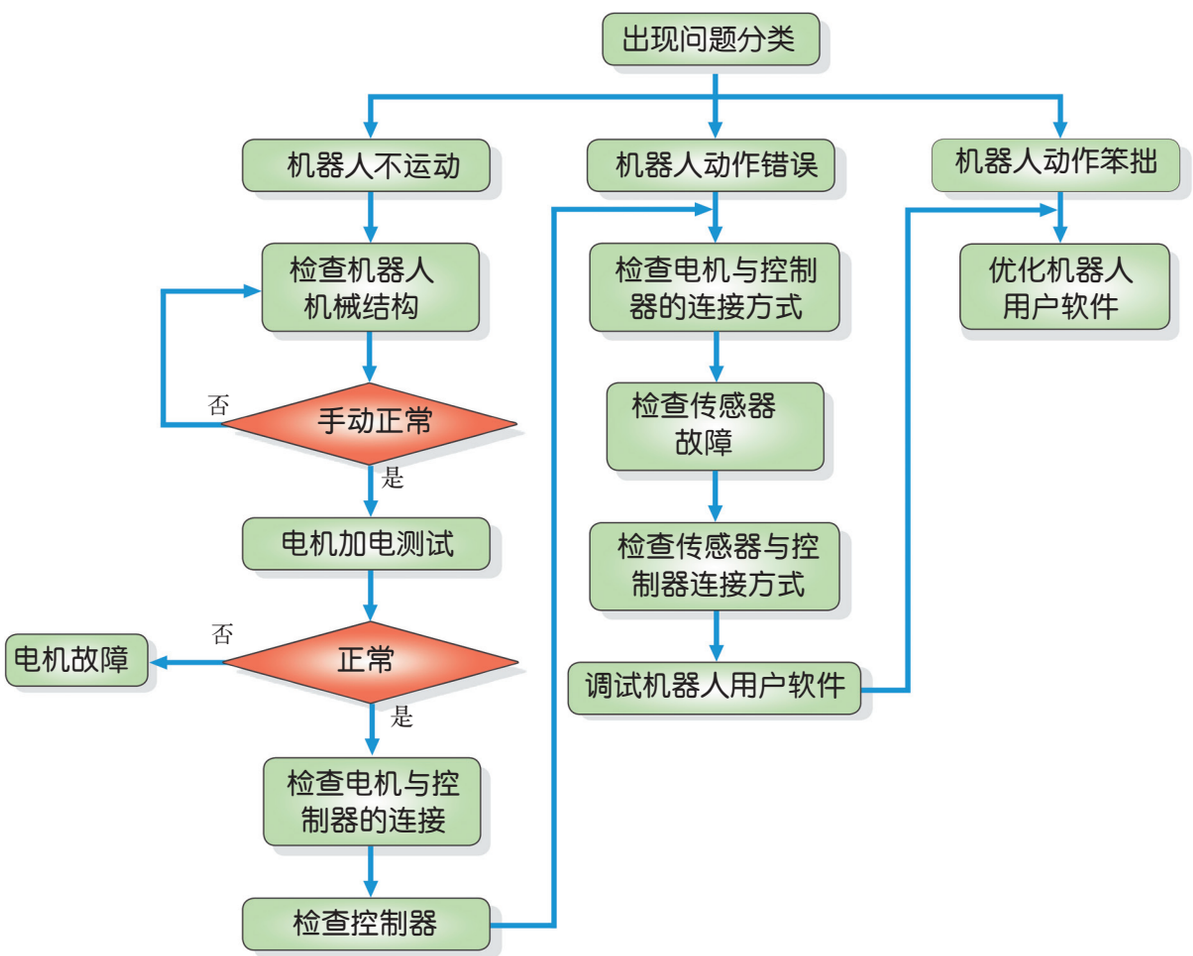


图 5.20　机器人调试过程

微信公众号：电子课本大全

简易机器人最容易出现问题的地方如下：

(1) 机器人电源：电池电量是否充足，与控制器的连接是否正确、牢固。

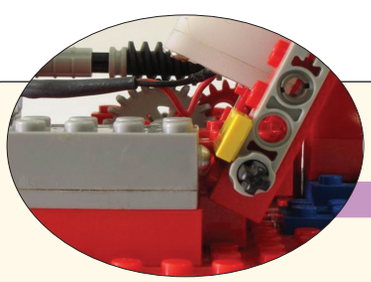
(2) 机械系统：各个传动部件是否运动顺畅，是否发生传动件脱开现象。

(3) 各输入输出器件与控制器的连接：包括电机、传感器与控制器的连接插头是否牢靠。

(4) 软件程序与硬件的匹配：控制程序对输入输出口的定义要与各口的实际物理连接相匹配，不要出现张冠李戴的现象。

(5) 程序下载：排查下载电缆的故障，确保用户编写的程序下载到控制器。

同学们在调试过程中要注意观察各种现象，不断总结经验，培养自己分析问题的能力和动手能力。



本 章 小 结

通过简易机器人的制作与编程，同学们可以体会到机器人的设计要根据具体实现的任务，从机械、控制和软件方面全面、系统、并行地考虑，这也恰好符合现代设计理念。虽然我们的机器人还是简易的，但是从机器人的机械系统与控制系统的设计方法与实现过程及调试方面来看，与复杂的机器人系统并没有本质的区别。

简易机器人已经搭建完成，现在就可以在场地上运行了。我们提供两个评估表格，供同学们对自己搭建的机器人做一个简单的评价。

表 5.6　高台灭火机器人评价表

成绩		灭火时间 /s					
		<30	30 ~35	35 ~40	40 ~50	50 ~60	>60
机器人避障	碰撞	金	银	银	铜	铜	✗
	接触	金 金	金	银	银	铜	✗
	避开	金 金 金	金 金	金	银	铜	✗
碰撞蜡烛		✗					

微信公众号：电子课本大全

表 5.7　巡线运球机器人评价表

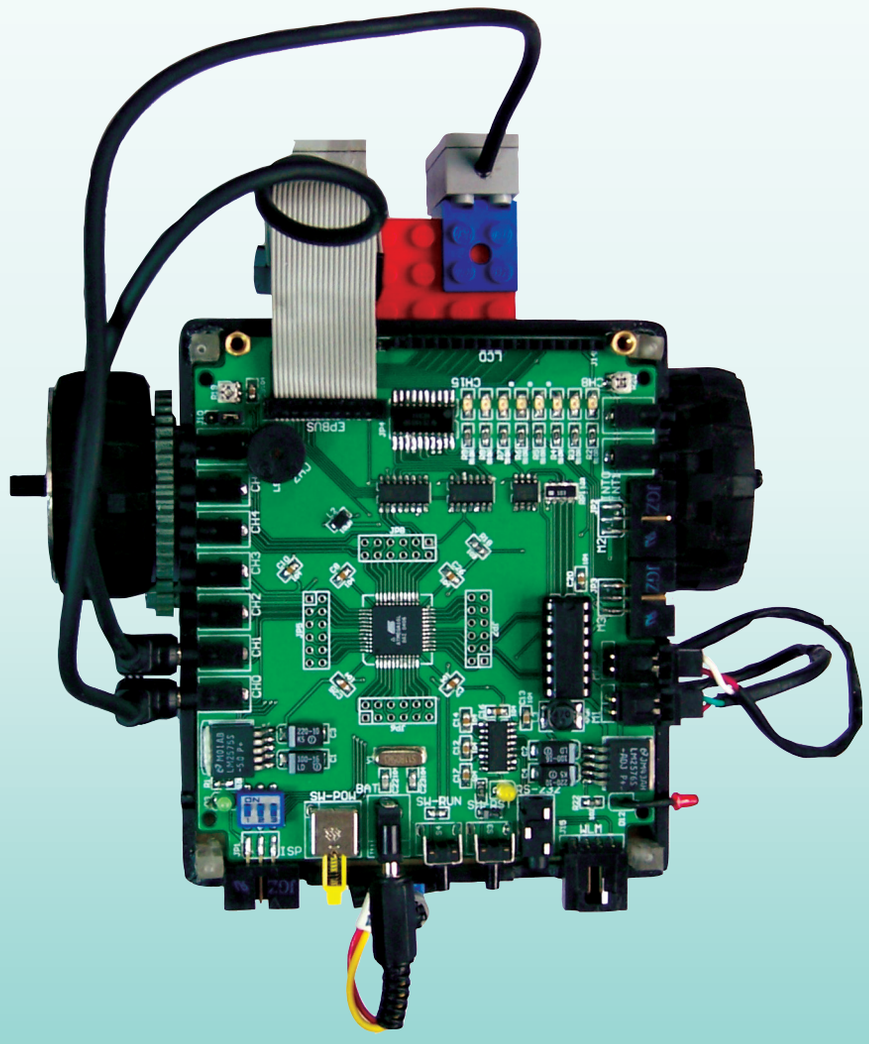
成绩		运球个数					
		0	1	2	3	4	5
机器人巡线	脱离	✗	铜	铜	银	银	金
	一般	✗	铜	银	银	金	金 金
	快速	✗	铜	银	金	金 金	金 金 金
碰撞球架和球库		✗					

微信公众号：电子课本大全

第六章　机器人的反馈控制（选学）

在《技术与设计 2》中我们已经掌握了反馈控制的概念，即利用传感器将被控量的实际输出取出并送回输入端，在控制器中与给定目标值比较，根据偏差决定控制作用的方法。

反馈控制也是机器人的基本控制方式，它使机器人的动作更准确，工作更有效。本章介绍一种角度测量传感器，并让同学们初步了解机器人中的运动反馈控制是如何实现的。



微信公众号：电子课本大全



学习导航

1．旋转编码器的工作原理是什么？
2．如何制作简易旋转编码器？
3．怎样利用编码器控制机器人的行程？



现象与问题

移动机器人的行程往往是一个重要的被控参数。下表是简易机器人小车行程控制的数据对比，理论距离是根据小车的最大理论速度乘以前进延时时间计算出的，而实际距离则是机器人在相应延时时间下实验测得的。

机器人小车行程控制的数据对比

理论速度	v=300 mm/s		
延时时间 /s	3	5	10
理论距离 /mm	900	1 500	3 000
实际距离 /mm	950	1 600	3 200
误差值 /mm	50	100	200

讨论：
1．为什么机器人的实际移动距离与理论距离之间存在差异？
2．有什么办法能减少以上误差吗？

一、编码器的原理

由机器人小车行程控制的数据对比可知，用速度乘以时间方法获得的机器人移动距离与实际值有较大差异。为了准确地控制机器人的移动距离，比较可靠的办法是采用一种专用传感器——旋转编码器，它能测量驱动电机或车轮转过的角度，进而较准确地算出机器人的移动距离和速度。

图 6.1 所示为旋转编码器的基本工作原理。被测转轴上安装有一个黑白相间的圆盘（也称码盘），一个反射式光电传感器正对码盘。轴旋转后，光电传感器发出的光线将轮流照射到码盘上的黑白区间。在黑色区间，传感器的输出为1，在白色区间，传感器的输出为0，这样，传感器就会输出一种方波脉冲信号。与传感器相接的电路及控制程序再对该脉冲信号计数，就能算出轴的转角。例如，图示码盘上均匀分布着 5 对黑白相间区间，于是每一个方波周期（对应相邻的一对黑白

微信公众号：电子课本大全

区间）就代表 72°。如果控制器接收的方波周期数为 3，则表明轴转过了 216°。

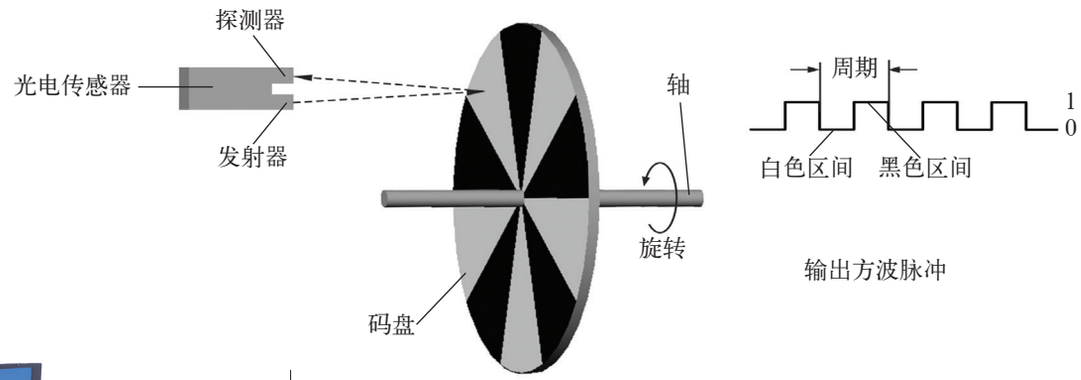


图 6.1　旋转编码器的基本工作原理

新视窗 · 知识外延

编码器

编码器的分辨率指它每输出一个脉冲信号所对应的转角，这个角度越小，表明编码器的测量精度越高。工业用编码器的分辨率一般为 0.05 ~ 1(°)/ 脉冲。

旋转编码器目前在机器人控制系统中多用来测量电机的转速和转角。此外，电位器也是一种能测量转角的传感器，它基于可变电阻的工作原理，结构简单，体积小，常用于机器人手指关节控制。但是，它的输出信号是模拟量，而且响应较慢，不太适合数字控制电路。

小 资 料

鼠标的奥秘

当我们使用机械式鼠标单击屏幕上任意位置时，可曾想过它是如何工作的？事实上，鼠标中就采用了旋转编码器来跟踪它的位移。不过，这个编码器和前面介绍的编码器有所不同。鼠标采用齿形码盘和对射式光电传感器，传感器的红外发射器(黑色)和探测器(白色)恰好位于码盘轮齿的两侧(图 6.2)，鼠标球滚动带动码盘旋转，它的轮齿就会交替遮断传感器的光线，从而产生对应于码盘转角的方波。鼠标中有两个编码器，分别用于跟踪鼠标球在两个垂直方向上的滚动。

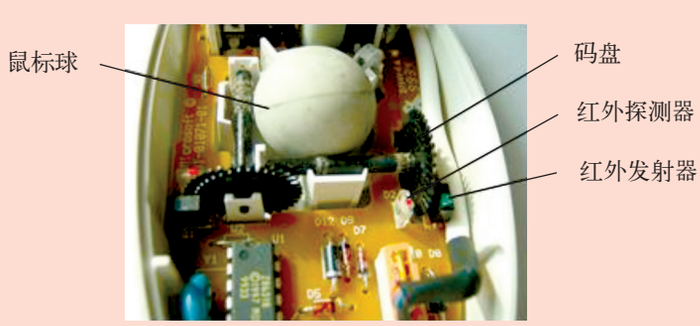


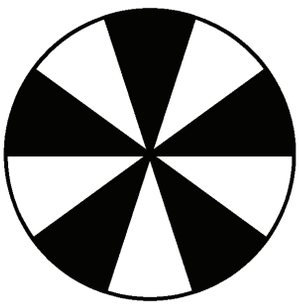
图 6.2　机械式鼠标的结构

二、简易旋转编码器的制作

在了解编码器的原理后，我们可以自己动手制作一个简易旋转编码器（图 6.3），用来测量机器人小车车轮的转动角度。

简易编码器的制作步骤如下：

微信公众号：电子课本大全


码盘

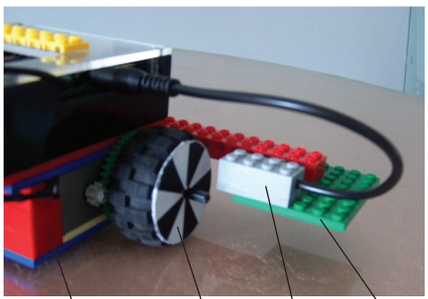


图 6.3　自制简易旋转编码器

第一步：将图 6.3 中黑白相间的码盘图案复制于白纸上，然后将其粘贴于硬纸板上，最后一并剪切成码盘形状。

第二步：将码盘粘贴到车轮外侧，注意要让码盘与车轮同心。

第三步：选用适当的拼装件做支架，将光电传感器固定到车体上。传感器前端与码盘相距约 10 mm，且让传感器对准码盘上距圆心约 2/3 半径的位置。

三、机器人行程控制

接下来就可以借助车轮上的旋转编码器和反馈方法来控制机器人的行程了。由于只有一个驱动轮上安装有编码器，为简化问题，这里将用这个编码器的反馈信号同时控制机器人的两个驱动轮以相等的速度直线前进。图 6.4 是控制系统的示意图。



探究尝试

1. 控制器接收的是编码器的脉冲信号，而被控量又是机器人的行程，因此有必要知道它们之间的换算关系。同学们能计算出自制编码器每一个脉冲输出所对应的机器人小车的行程吗？

2. 将编码器安装在电机输出轴上与安装在车轮上有何区别？

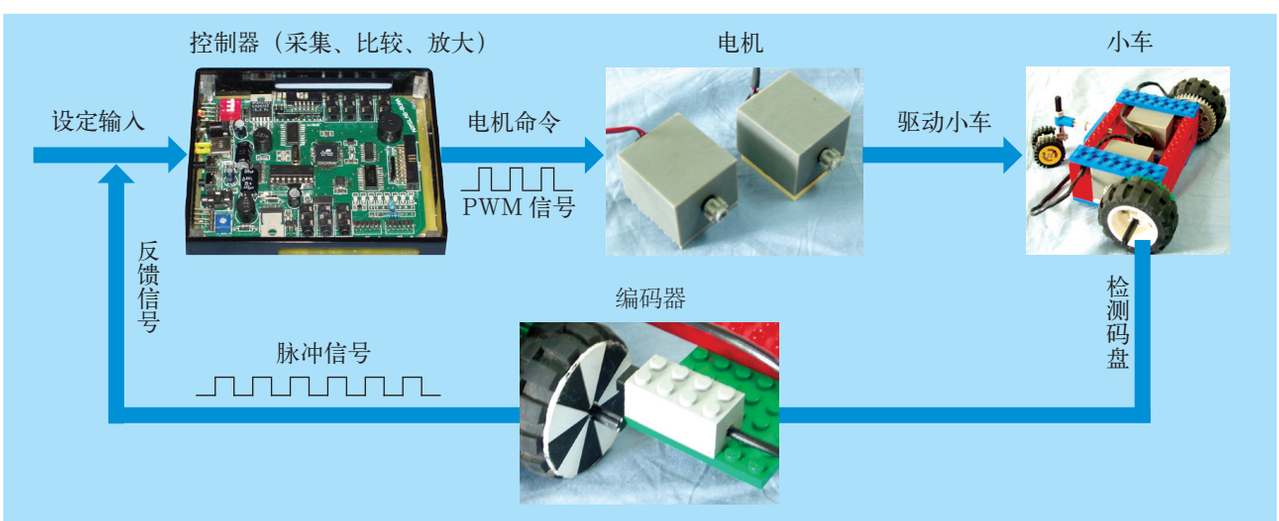


图 6.4　简易机器人行程控制系统

机器人行程控制的程序流程如图 6.5 所示，对应的 C 程序清单列于程序清单 6.1 中。这个程序并不复杂，它定义了 4 个变量，counter 累计编码器输出的脉冲数，v1 为编码器当前状态，v2 代表上一次控制器读入的编码器状态。需要特别说明的是，变量 length

微信公众号：电子课本大全

代表了机器人目标行程所对应的编码器脉冲数，由于车轮（周长155 mm）每转一圈编码器输出 10 个脉冲，因此该变量的初值 65 就代表目标行程约为 1 000 mm。按以上行程与脉冲数的关系，同学们可通过更改这个变量的初值设定目标行程的其他值。

程序首先驱动机器人直线前进，然后执行 for 循环不断读取编码器的状态（假设编码器接入通道 1），若两次采样的状态发生了变化（v1 ≠ v2），说明编码器转过了 1 个区间，则脉冲计数 counter 加 1。程序再将 counter 与 length 进行比较，如果 counter 达到 length 的值，说明机器人的行程达到目标设定值，则机器人停止，否则继续以原有速度前进。

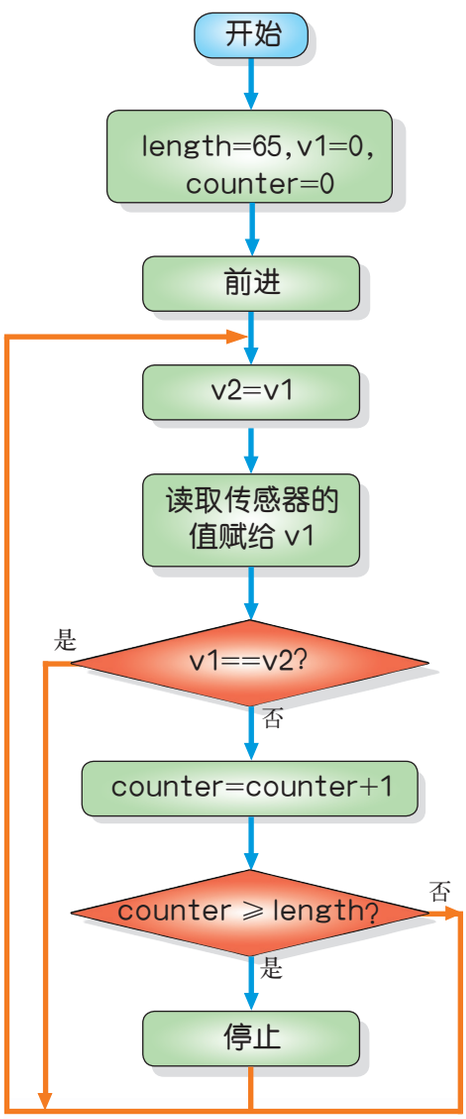


图 6.5　行程控制流程图

程序清单 6.1

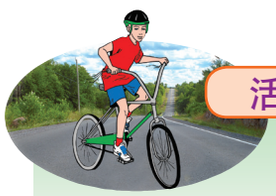
```
1   void main( )                    // 主函数
    {
        int length;
        int counter;
5       int v1;
        int v2;
        length=65;                  // 距离 1 000 mm
        v1 = 0;
        counter = 0;
10      Motor(0, -50);              // 前进
        Motor(1, 50);
        for(;;)
        {
            v2 = v1;
15          v1 = ReadUD(1);         // 读入传感器的值
            if(v1 != v2)
            {
                counter = counter+1;
                if( counter > = length )
20              {
                    Stop( );        // 停止
                }
            }
        }
25  }
```


微信公众号：电子课本大全



实践活动

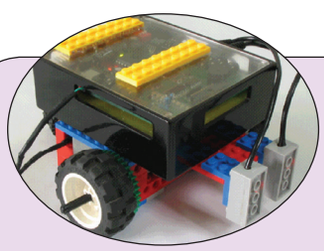
使用上述程序控制机器人小车前进不同的目标行程。比较采用编码器反馈控制与前面定时控制两种方法，看机器人的定位误差有何区别。



活动延伸

1. 如果在机器人的两个驱动轮上都安装编码器，就可以知道它们各自的转角，从而判别出机器人是否在转弯，以及转弯半径的大小。请仿照前面的方法为另一个驱动轮制作简易旋转编码器，然后编程，让机器人走一个圆圈。

2. 观察我们前面搭建的高台灭火机器人和巡线运球机器人，考虑是否有其他转动关节也可以采用旋转编码器实现反馈控制，动手试一试。



本 章 小 结

机器人通常对运动精度有较高的要求，因此反馈控制是其主要的控制方式。

光电旋转编码器是机器人上经常使用的一种转轴角度反馈传感器，它由光电传感器和随轴转动的码盘组成。本章介绍的简易旋转编码器包括一个反射式光电传感器和一个黑白相间的码盘，通过光电传感器对码盘上的黑白区间计数就可以得出轴的转角。

简易机器人上也有很多地方可以采用基于旋转编码器的反馈控制，如机器人小车的行程，它是通过旋转编码器检测车轮的转角实现的。

微信公众号：电子课本大全

附录一　机器人比赛集锦

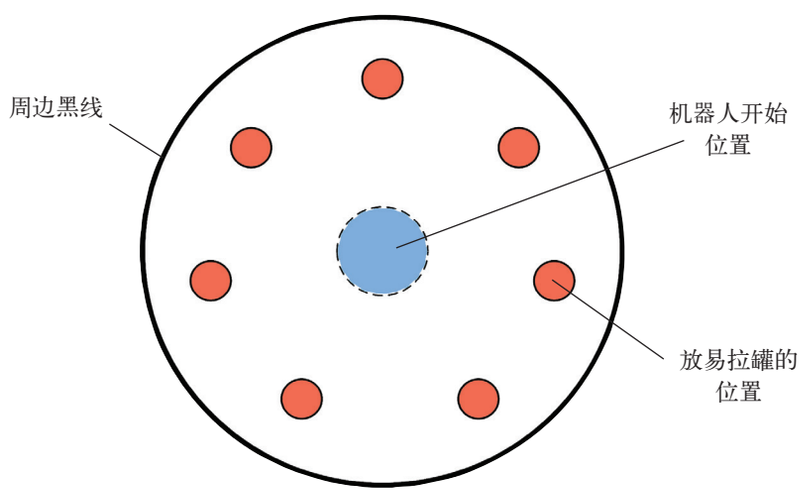
机器人比赛不仅考验机器人本身的制作水平，而且还体现出参赛人员的比赛策略、心理素质等，因此是一种非常理想的教学辅助手段。

目前，各种各样的机器人比赛很多，但有的比赛需要大量的准备工作，或者需要配备复杂的设备，不大适合教学。这里列举几种简单易行的机器人比赛形式，同学们利用在教材中制作的简易机器人就可以参与比赛，具体比赛规则可根据实际情况自行制定。

一、机器人踢罐赛

机器人踢罐赛属于单机器人比赛，难度不大，是一项较好的入门性机器人比赛。

比赛在一个底色为白色的圆形赛场上进行(附图 1)，赛场直径约 1 000 mm，周边是黑色的线条(边界）。在图中橙色圆圈位置分别放置 7 个易拉罐，它们均匀地分布在一个同心圆上。比赛的目标是尽可能快地把易拉罐从圆形赛场踢出。如果所有的易拉罐都被踢出了界外，或者时间到了 1 min，那么该轮比赛就算结束。最后以踢出所有易拉罐所用时间，或踢出易拉罐的数量（如果场上还有易拉罐）计算成绩。



附图 1　机器人踢罐赛场地示意

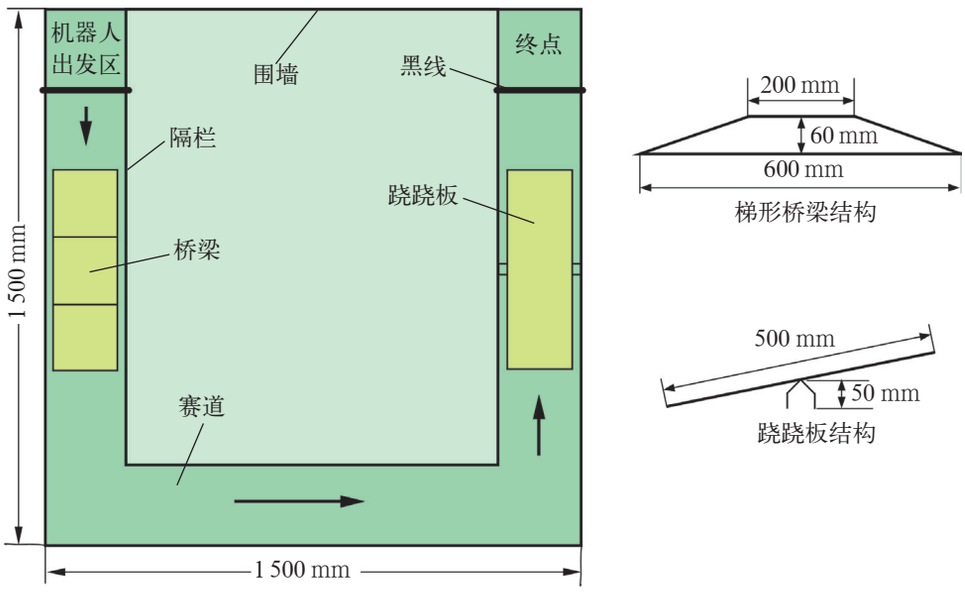
二、机器人探险赛

机器人探险赛要求机器人沿赛道越过由“桥梁”和“跷跷板”构成的路障，最后抵达终点，它主要考验机器人爬坡能力以及结构的牢固性。

比赛场地大小为 1 500 mm × 1 500 mm（附图 2），赛道宽 250 mm，场地周边及赛道隔栏高 100 mm(隔栏可用硬纸板搭建)。桥梁为一梯形斜面，宽度略小于赛道，上边长 200 mm，下边长 600 mm，高 60 mm（可用两块三合板做梯形的斜边搭在一沓高 60 mm 的书上构成桥梁）。跷跷板

微信公众号：电子课本大全

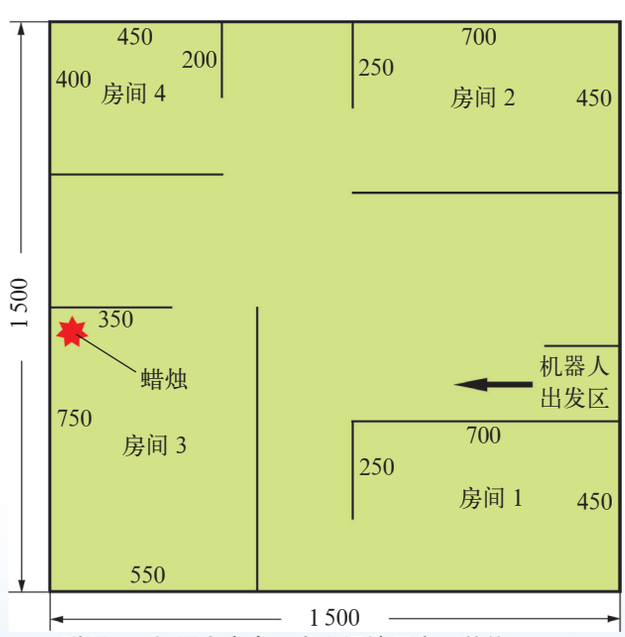
宽度也略小于赛道，板长 500 mm，下面的支撑轴高 50 mm，比赛开始前跷跷板应向机器人来向倾斜。机器人从起始区出发，沿赛道以最快速度到达终点，用时最少者胜。



附图 2　机器人探险赛场地及路障示意

三、机器人室内灭火赛

与教材里讲述的“高台灭火机器人”不同，机器人室内灭火时在出发区并不能看见火源（蜡烛）的位置，它必须搜索各房间，找出火源。室内灭火的场地如附图 3 所示，共有 4 个房间，火源在随机选取的某个房间内，火源高度为 50 mm，场地围墙和各房间隔墙的高度为 100 mm。机器人从出发区开始寻找火源，直至将其扑灭，用时最少者胜。

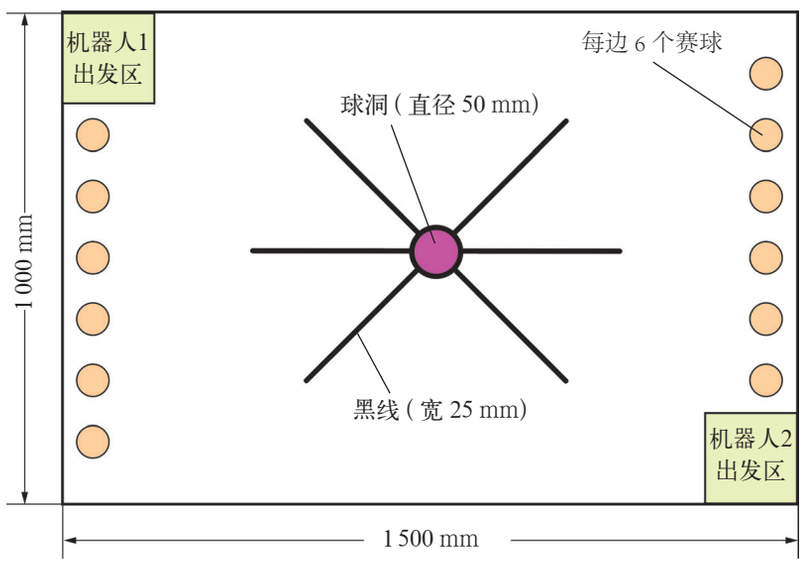


附图 3　机器人室内灭火赛场地示意（单位：mm）

微信公众号：电子课本大全

四、机器人高尔夫球赛

机器人高尔夫球赛是一项双机器人比赛。双方机器人在一个 1 500 mm × 1 000 mm 的长方形平台上进行对抗（附图 4），比赛的目标是尽量多地将高尔夫球（也可用乒乓球）投入赛场中央的球洞中。赛场周边围墙高 100 mm，场地的底色为白色，中间有 6 条黑色引导线指向球洞。赛场两边各有 6 个赛球，但它们没有区别，机器人可以任意投放。两个机器人分别从各自的出发区启动开始找球，然后设法将其投入球洞。比赛时间为 1 min，投进洞中球数多者胜。



附图 4　机器人高尔夫球赛场地示意

微信公众号：电子课本大全

附录二　部分中英文词汇对照表

机器人	robot
工业机器人	industrial robot
特种机器人	special type robot
服务机器人	service robot
机械结构	mechanical construction
驱动装置	actuator
控制器	controller
传感器	sensor
动力源	power source
电源	electrical power
液压源	hydraulic power
气压源	pneumatic power
机器人小车	robot vehicle
巡线	line-following
电机	electrical motor
光电传感器	optosensor
机器人比赛	robot contest
人工智能	artificial intelligence
单片机	single chip microcontroller
引脚	pin
编程	programming
输入	input
输出	output
接口	interface
集成电路	integrated circuit, IC
微控制器	microcontroller
嵌入式系统	embedded system
中央处理单元	center process unit, CPU
存储器	memory
可擦除可编程只读存储器	erasable programmable read only memory, EPROM
电可擦除可编程存储器	electrically erasable programmable read only memory, EEPROM
通道	channel
复位	reset

微信公众号：电子课本大全

发光二极管	light-emitting diode，LED
蜂鸣器	beeper
主频	central frequency
时序逻辑	timed logic
时钟	clock
并行	parallel
串行	serial
总线	bus
定时器	timer
计数器	counter
中断	interrupt
运算器	operator
算术逻辑单元	arithmetic logic unit，ALU
状态寄存器	state register
程序计数器	program counter
指令寄存器	command register
指令译码器	command decoder
指令	command，instruction
位	bit
只读存储器	read only memory，ROM
随机存储器	random access memory，RAM
闪速存储器	flash memory
字节	byte
模拟信号	analog signal
数字信号	digital signal
模数转换器	analog to digital converter，ADC
数模转换器	digital to analog converter，DAC
脉冲	pulse
脉宽调制	pulse width modulation，PWM
串行外设接口	serial peripheral interface
异步	asynchronous
同步	synchronous
在线编程	in-system programming
端口	port
振荡放大器	oscillator
参考电源	reference power supply
三极管	transistor
电阻	resistor
集电极	collector
发射极	emitter

微信公众号：电子课本大全

基极	base pole
电平	voltage level
封装	packaging
菜单	menu
硬件	hardware
软件	software
开发装置	development device
调试	debug
编译	compilation
下载	download
模拟	simulation
开发环境	development environment
信息	information
图形化语言	graphics language
集成开发环境	integrated development environment
常量	constant
变量	variable
编程器	programmer
汇编语言	assembly language
机器语言	machine language
高级语言	high-level language
代码	code
库函数	library reference
编译预处理	compilation pretreatment
宏定义	macro definition
函数	function
整型变量	integral variable
字符型变量	character variable
数据	data
数据类型	data type
运算符	operator
表达式	statement
顺序	sequence
循环	loop
选择	selection
分支	branch
配置	configuration
驱动	drive
电池	battery
继电器	relay

微信公众号：电子课本大全

调速	rate regulation
直流电机	DC motor
步进电机	step motor
舵机	micro servo motor
H 桥电路	H-bridge circuit
开关	switch
接触传感器	touch sensor
光敏传感器	light sensor
光敏电阻	photo resistor
光电判读器	optical interrupter
对射式传感器	break-beam sensor
反射式传感器	reflective sensor
红外测障传感器	infrared proximity sensor
二极管	diode
压电	piezoelectric
半导体	semiconductor
电刷	electricity brush
换向器	commutator
机械系统	mechanical system
传动装置	transmission device
执行装置	executive device
齿轮	gear
啮合	meshing
锥齿轮	bevel gear
齿条	rack
蜗杆	worm gear
蜗轮	worm wheel
齿轮传动	gear transmission
轮系	gear train
减速器	gear box
连杆传动	linkages transmission
铰链	gemel
带轮（滑轮）	pulley wheel
皮带	belt
链条	chain
曲柄	crank
平面连杆机构	planar linkage mechanism
机械手	manipulator
反馈控制	feedback control
旋转编码器	shaft encoder

微信公众号：电子课本大全