

通用技术

选择性必修2

机器人设计与制作

普通高中教科书



普通高中教科书

通用技术

选择性必修2

机器人设计与制作

通用技术

选择性必修2

机器人设计与制作

地质出版社



绿色印刷产品

批准文号：京发改规〔2016〕13号 举报电话：12315



普通高中教科书

通用技术

选择性必修 2

机器人设计与制作

JIQIREN SHEJI YU ZHIZUO

通用技术编写组 编

地质出版社
·北京·

主 编: 陈玲玲 王永奉
副 主 编: 王明彦
本册主编: 崔世钢
编 写 者: 崔世钢 王永亮 孙 永 刘 辉 史明芳

普通高中教科书 通用技术 选择性必修 2
机器人设计与制作

策划编辑: 王永奉
责任编辑: 刘瑞峰 周苏琴
责任校对: 田建茹
出版发行: 地质出版社
咨询电话: (010) 66554599, (010) 66554602
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: huqingcui@163.com, dzhjyfsh@163.com
传 真: (010) 66554601
社址邮编: 北京市海淀区学院路31号, 100083
经 销: 各地新华书店
印 刷: 山西华文科杰印业有限公司
开 本: 890mm×1240mm 1/16
印 张: 6.5
版 次: 2020年2月第1版 · 2021年7月第3次印刷
定 价: 7.70元
书 号: ISBN 978-7-116-11979-6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社; 如本书有印装问题,本社出版处负责调换)

致同学们

自世界上第一台机器人问世以来，机器人以其异常迅猛的速度不断发展，现已成为制造业皇冠上一颗耀眼的明珠。机器人被广泛应用于机械、冶金、汽车、电子、海洋、原子能及化工等诸多领域，改变着人们的工作方式和生活方式，是人们的有力助手和亲密伙伴。

机器人技术涉及机械、计算机、传感器、自动控制、人工智能等多学科技术，已经成为高科技的代名词。很多同学都有能亲手设计与制作机器人的梦想，《机器人设计与制作》将带领同学们走进机器人的世界。

《机器人设计与制作》以设计与制作为主线，具有实践性强的特点；同时，为同学们提供了宽广而丰富的想象和创新空间。在学习过程中，同学们可以联系生活实际，进行大胆想象，勇于质疑和批判，敢于创新，善于创新，积极实践，在动手设计与制作机器人的过程中，使自身的创造潜能得到充分开发，使实践能力得到进一步提高。

在学习“机器人设计与制作”课程时，应该注意以下几点：

(1) 积极动手实践，做中学。从学习机器人的基础知识、工作原理、设计到制作机器人、测试及评价等一系列活动，同学们都应该积极参与和动手实践，这有助于强化同学们的手脑并用与知行合一，增强技术思想和方法的学习与运用，发展工程思维及图样表达能力……书中提供的实践步骤可以更好地帮助同学们提高动手实践能力。

(2) 理论联系实际，学中做。这门课程与生活联系密切，所以需要同学们多观察，勤思考，在生活中增强技术意识，发现并解决实际问题，提高所学知识的综合应用能力。

(3) 敢于批判，善于创新。同学们可以结合课程内容，充分发挥自己的想象力和创造力，设计、制作自己的机器人；可以团结协作，采取自主学习、合作创造等多种方式，提高创新意识，增强团队合作精神。

(4) 在机器人的设计与制作过程中，一定要以实事求是的态度、严谨细致的作风、精益求精的精神对待每个环节，培养自己的物化能力和工匠精神。

“机器人设计与制作”是一门综合实践类课程，同学们在学习中可能会遇到一些困难，希望同学们能勇于克服，在实践中锻炼升华，为今后发展奠定扎实的基础。

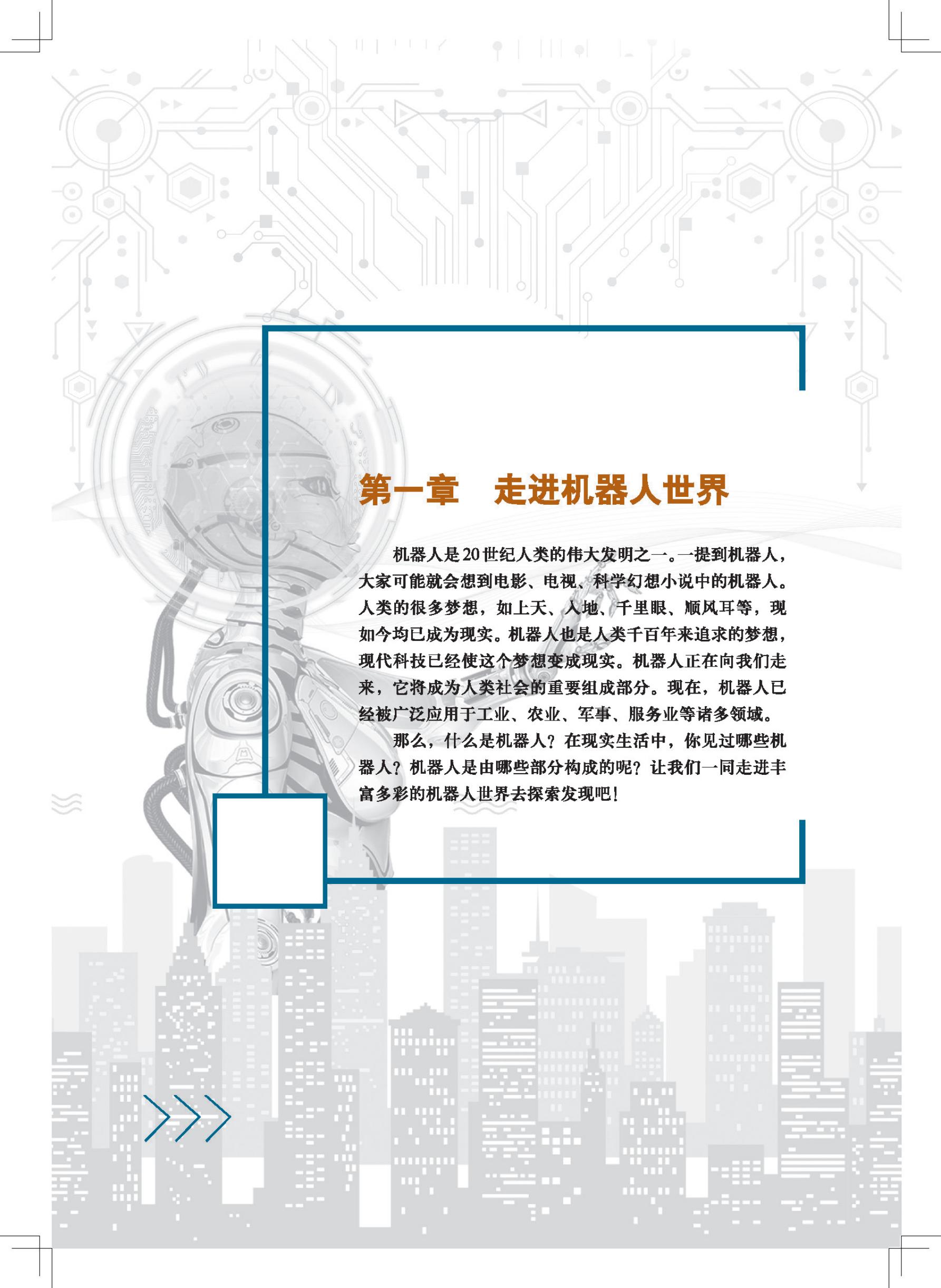
目 录

第一章 走进机器人世界	1
 第一节 机器人的发展历程	2
一、古人的梦想与早期机器人	2
二、机器人的由来与机器人三定律	2
三、丰富多彩的机器人世界	4
 第二节 机器人的主要技术构成.....	8
一、机器人的机械系统	8
二、机器人的控制系统	9
三、机器人的感知系统	9
四、机器人的设计与制作过程	10
第二章 机器人的机械系统.....	12
 第一节 平面连杆传动机构及其分析	13
一、常见的平面连杆传动机构	13
二、平面连杆传动机构的应用	14
三、平面连杆传动机构的分析	15
 第二节 平面连杆传动机构的制作	17
一、制作平面连杆传动雨刮器	17
二、绘制平面连杆传动雨刮器的机构简图	21

第三节 齿轮传动机构及其分析	22
一、常见的齿轮传动机构	22
二、齿轮传动机构的应用	23
三、齿轮传动机构的传动比计算	24
第四节 齿轮传动机构的制作	25
一、齿轮传动机械爪组件	25
二、制作齿轮传动机械爪的步骤	27
三、调试齿轮传动机械爪	30
第五节 提升装置的设计与制作	30
一、任务分析	31
二、方案设计	31
三、提升装置的制作	31
四、调试提升装置	35
第三章 机器人的控制系统	36
第一节 机器人的控制器	37
一、单片机	37
二、机器人控制电路	38
三、机器人控制器的外围电路	40
第二节 机器人的控制程序	42
一、编程语言	42
二、配置图形化编程环境	43
三、常用的功能图块和函数	45
第三节 机器人编程实践	47
一、机器人的DIO接口模块应用	47
二、机器人的前进、后退	48

第四章 机器人的感知系统	53
第一节 常用的机器人传感器	54
一、触碰类传感器	54
二、光感类传感器	54
三、声感类传感器	55
四、机器人的高级感知	55
第二节 传感器在机器人中的典型应用	56
一、开关功能	56
二、沿轨迹行走的功能	57
三、行走中避障的功能	57
四、状态反馈功能	58
第三节 传感器的调试与监测	59
一、搭建传感器电路	59
二、通过串口监测传感器信息	61
第四节 机器人传感器的功能实现	65
一、机器人的障碍物探测	65
二、机器人的加速、减速	67
第五章 机器人的控制策略	71
第一节 顺序结构编程	72
一、顺序结构的概念	72
二、机器人运动——顺序结构实现	72
第二节 分支结构编程	74
一、分支结构的概念	74
二、机器人避障——分支结构实现	74

第三节 循环结构编程	76
一、循环结构的概念	77
二、机械爪抓取——循环结构实现	78
第六章 机器人综合设计实践	82
 第一节 机器人轨迹导航任务	83
一、任务分析	83
二、方案设计	83
三、机器人的控制策略	84
四、机器人的编程与测试	84
 第二节 机器人搬运任务	89
一、任务分析	89
二、方案设计	89
三、机器人的控制策略	90
四、机器人的编程与测试	91



第一章 走进机器人世界

机器人是20世纪人类的伟大发明之一。一提到机器人，大家可能就会想到电影、电视、科学幻想小说中的机器人。人类的很多梦想，如上天、入地、千里眼、顺风耳等，现如今均已成为现实。机器人也是人类千百年来追求的梦想，现代科技已经使这个梦想变成现实。机器人正在向我们走来，它将成为人类社会的重要组成部分。现在，机器人已经被广泛应用于工业、农业、军事、服务业等诸多领域。

那么，什么是机器人？在现实生活中，你见过哪些机器人？机器人是由哪些部分构成的呢？让我们一同走进丰富多彩的机器人世界去探索发现吧！



第一节 机器人的发展历程

机器人的产生和发展是人类社会，特别是工业社会发展的客观需求，也是科学技术发展的必然结果。机器人技术是一门综合性学科，它综合了多种基础学科、技术学科以及新兴科技领域的多方面知识，突出体现了当代科学技术发展高度分化而又高度综合这一特点。

一、古人的梦想与早期机器人

任何技术的产生和发展都有其一定的渊源，机器人的起源可以追溯到古代——人类一直梦想制造出能够代替自身劳动的工具或机器。

尽管古代没有“机器人”这个名词，但人们可以按照自己的意愿创造出代替自身劳动的工具或机器，来完成一些简单的动作。类似于这样的“机器人”，在中西方的书籍中有很多记载。

阅读材料

西周时期，偃师研制出了能歌善舞的伶人，这是我国有记载的最早“机器人”。东汉时期，科学家张衡发明了指南车和计里鼓车（图1-1），这是我国早期研制的“机器人”雏形。南宋后期，出现了一种以水力为原动力的纺织机械——水转大纺车，这是当时世界上最先进的纺织机械。

在国外，也有一些国家较早地进行了机器人的研制，如日本近代工匠制造的自动玩偶、法国近代工匠制造的机器鸭、瑞士近代工匠制造的能写字的娃娃等。

现在保留下来的最早的机器人是瑞士努萨蒂尔历史博物馆里的少女玩偶，它制作于200年前，两只手的十个手指可以按动风琴的琴键而演奏音乐，现在还在定期演奏供参观者欣赏，展示着人类的智慧。



图1-1 计里鼓车

二、机器人的由来与机器人三定律

“机器人”这个词是从单词“robot”翻译而来，而“robot”最早是在1920年由捷克作家卡雷尔·恰佩克创造的，它的词源是捷克文“robota”，意思为“从事繁重工作的奴隶”。

在戏剧《罗萨姆的万能机器人公司》中，一位名叫罗萨姆的哲学家研制出一种具有人形外观的机器人，它们像仆人一样能够按照主人的命令默默工作，没有感觉和感情，以呆板的方式从事繁重的劳动。后来，罗萨姆公司在商业上取得了极大成功，并使机器人具有了感情和思维。机器人不堪忍受人类的统治，向人类发动攻击，最终毁灭了人类。这个故事引发了人类对机器人安全问题的思考。

针对人类社会对即将问世的机器人的不安，美国著名科学幻想小说家阿西莫夫于1950年在他的小说《我，机器人》中，提出了著名的“机器人三定律”：

- (1) 机器人不得伤害人类个体，或者目睹人类个体将遭受危险而袖手旁观。
- (2) 机器人必须服从人的命令，当该命令与第一定律冲突时例外。
- (3) 机器人在不违反第一、第二定律的情况下要尽可能保护自己的生存。

这三条定律，赋予机器人社会新的伦理性，并使机器人概念通俗化，更易于为人类社会所接受。至今，它仍为机器人研究人员、设计制造厂家和用户提供了具有重要意义的规范和道德准则。

讨论交流

你是如何理解“机器人三定律”的内容和含义的？



由此可见，最开始提出的机器人与工程学关系并不大，与我们今天所熟知的“robot”概念还有很大区别。随着“robot”概念的火爆，精明的商人和工程师把自己的产品冠名为“robot”，用以助推自身事业的发展。比如，美国《大众科学》杂志1928年就刊登了某工程师制作的可点灯、加热电熨斗和生炉子的“robot”；再如，1939年纽约世博会上，某电气公司展出的Elektro（伊莱克）机器人（图1-2）以及它的伙伴机器狗，也使用了“robot”这个词。

直到1959年，美国科学家约瑟夫·恩格尔伯格和乔治·德沃尔发明了世界上第一台工业机器人（图1-3），并命名为“Unimate”，意思是“万能自动”。“Unimate”重达两吨，



图1-2 Elektro（伊莱克）机器人



图1-3 世界上第一台工业机器人

使用液压驱动，定位精度达到万分之一英寸，被成功地应用于汽车生产线上，标志着第一代工业机器人的诞生。

“robot”这个由文学家创造的词汇，由于商业的青睐，进入工业领域中得到应用和蓬勃发展，并且随着人类社会的不断发展逐渐延伸至农业、服务业、军事等诸多领域当中。

阅读材料

机器人的三个发展阶段

通常可将机器人分为三代。

第一代是示教再现机器人。这类机器人一般可以根据操作员所编的程序，完成一些简单的重复性操作。这一代机器人从20世纪60年代后半期开始投入使用，目前在工业领域得到了广泛应用。

第二代是感知机器人，即自适应机器人，是在第一代机器人的基础上发展起来的。其主要标志是感知机器配备有自身所需要的传感器，机器人能够根据传感器获取的信息和人们预先规定的程序修改原则自行修改程序，从而完成指定的任务。

第三代是智能机器人，具有识别、推理、规划和学习等智能机制。它能够从外部环境中获取有关信息，通过机器人的自主学习和总结经验对感知到的信息进行处理，并利用传动机构使肢体行动起来，正确、灵巧地执行思维机构下达的命令。目前，这类机器人正逐步趋于成熟，将向实用化方向迅速发展。



三、丰富多彩的机器人世界

问题思考

你在现实生活中见到过哪些应用机器人的实例？这些机器人的作用是什么？



机器人是具备一些与人或其他生物相似智能的机器，如感知能力、规划能力、动作能力和协调能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。它可以模拟人的思维完成许多复杂的工作，能代替人在危险或有毒、有害的环境中工作，是人类忠实可靠的帮手。机器人技术是我国重点支持的高新技术和国家战略性新兴产业之一，对于国民经济和国防建设具有重要意义。

机器人的广泛应用，不仅大大提高了生产的自动化程度，而且也逐步深入各个行业，为人们的生产生活带来许多便利。近年来，机器人的发展呈现智能化、系统化趋势，在语音交流、逻辑思辨能力等方面不断取得重大突破。未来，机器人将成为人类社会生活不可或缺的存在。

目前的机器人，按工作领域可以大致分为工业机器人、军用机器人、服务机器人、危险作业机器人、农业机器人、娱乐机器人等。

1. 工业机器人

工业是目前机器人技术应用最为广泛和最为成熟的领域。最早的机器人就诞生于工业领域，工业机器人在工业生产中能代替人做某些单调、繁重和重复、长时间的作业，或在危险、恶劣环境下的作业，如在焊接、喷涂、装配、包装、搬运、切割等工序上，完成对人体有害物料的搬运或工艺操作等（图 1-4）。



图1-4 汽车生产线

2. 军用机器人

军用机器人是一种应用于军事领域的具有某种仿人功能的自动机器人。军用机器人分为以下几种类型：①直接用于战斗，如战术机器人、榴弹炮机器人、固定防御机器人等；②用于侦察，如无人机（图 1-5）、投抛式侦察机器人、三防侦察机器人等；③用于工程保障，如排雷机器人、布雷机器人、战术欺骗机器人等；④用于后勤保障，如自动加油机器人、运输机器人（图 1-6）、抢修机器人等。



图1-5 军用无人机



图1-6 为士兵运送弹药、食物的“大狗”机器人

3. 服务机器人

服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人，能完成有益于人类的服务工作，但不包括从事生产的设备。服务机器人是 21 世纪最有发展潜力的应用领域之一。专家们曾预测：从长远来看，服务机器人的数量将会超过工业机器人的数量。服务机器人涵盖的范

围很广，如医疗机器人、迎宾机器人（图1-7）、服务员机器人、家用机器人、导游机器人、烹饪机器人（图1-8）等。



图1-7 迎宾机器人



图1-8 烹饪机器人

4. 危险作业机器人

危险作业机器人是一类特别的机器人，属于机器人里的“特种兵”。它们全部“战斗”在人类无法到达、无法正常开展工作或对人类危害非常大的地方，如代替军医和护士从事战场救援，以最快速度进入地震废墟、火场、爆炸现场、有毒物质泄漏现场、核辐射危险区、高压电危险区、狭窄管道缝隙、深海（图1-9）、火山、高空，甚至外太空、外星球等场所进行工作。这类机器人的出现大大降低了人类工作的危险性，完成了人类目前还不可能亲自完成的任务。



图1-9 深海机器人

5. 农业机器人

农业机器人主要应用于农业生产，是一种可由不同程序控制，能感觉并适应作物种类或环境变化的新一代无人自动操作机械。农业机器人的出现和应用，改变了传统的农业生产劳动方式，促进了现代农业的发展。已开发出来的农业机器人有耕耘机器人、施肥机器人、除草机器人（图1-10）、喷药机器人、蔬菜嫁接机器人、收割机器人、农业采摘机器人（图1-11）、林木修剪机器人、果实分拣机器人等。



图1-10 除草机器人



图1-11 农业采摘机器人

6. 娱乐机器人

娱乐机器人以供人观赏、娱乐为目的，具有机器人的外部特征，可以像某种动物，或者像童话或科幻小说中的人物等；同时，具有机器人的功能，可以行走或完成动作，可以具备语言能力，会唱歌，有一定的感知能力等。娱乐机器人是机器人里的“明星”，它们经常在科技场馆、大型活动中作为企业的形象代言人展示风采，如某汽车品牌的机器人乐队、高度仿人的“木户小姐”等。也有些娱乐机器人作为高档玩具供个人娱乐，如机器狗（图1-12）、音乐机器人、机器恐龙等。

目前，机器人正处于快速发展阶段，其应用领域已经渗透到人类生产生活的方方面面，而且新型机器人正在不断诞生。只要我们把机器人的相关技术应用于某个领域，该领域就有很大可能会诞生新型机器人。

调查研究

搜集相关资料，从“机器人在各行各业中的应用”“机器人失控致人死亡”“机器人与伦理道德”等角度出发，举出实例分析和明确机器人技术的两面性及机器人与人类、环境的关系。



阅读材料

机器人应该具备三大要素，即感知、思维和行动。

- (1) 感知：能够检测到内部、外部的状态和变化，并理解这些变化的某种内在含义。
- (2) 思维：机器人的“大脑”，通过控制机器人的程序，对感知的信息进行分析、推理及判断，规划实现目标的具体方案。
- (3) 行动：在“大脑”思维的控制下，机器人通过执行一系列的动作进行工作，完成预定的作业任务。



讨论交流

以某种机器人为例，简单说明其感知、思维和行动三大要素的功能是如何得以实现的。



图1-12 机器狗

第二节 机器人的主要技术构成

一台完整的机器人是由机械系统、控制系统和感知系统组成的。机器人通过感知系统获取信息，并将该信息发送至控制系统，控制系统对接收到的信息进行处理后，计算并规划出机器人的执行步骤，最后控制机械系统动作，完成相关任务，这就是机器人的一般工作过程。

一、机器人的机械系统

机器人的动作和运动，很多都是由其机械部分来完成的。学习机器人的设计与制作需要了解机械系统的组成。所谓机械系统就是机器人的机械身体部分，简单说就是零件。机械系统可以由多种材料和部件制成，如钢铁等金属材料，塑胶、木材等非金属材料。

工业机器人的机械系统包括机身、臂部、手腕、末端操作器和行走机构等部分，每一部分都有若干关节，从而构成一个多关节的机械系统。此外，若机器人具备行走机构，则构成行走机器人；若机器人不具备行走及腰转机构，则构成单机器人臂（图1-13）。末端操作器是直接装在手腕上的一个重要部件，它可以是两手指或多手指的手爪，也可以是喷漆枪、磁力吸盘等作业工具。工业机器人机械系统的作用相当于人的身体（如骨骼、手、臂和腿等）。

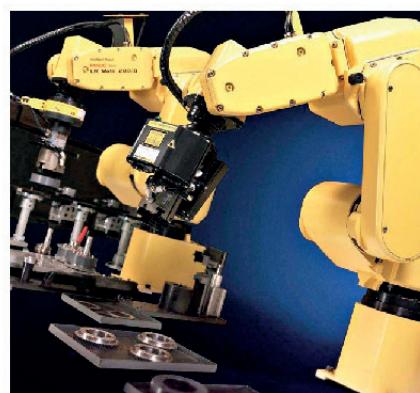


图1-13 单机器人臂

阅读材料

对于行走机器人而言，根据其行走机构的不同主要分为履带式机器人（图1-14）、足型机器人（图1-15）和轮式机器人（图1-16）三种。履带式机器人主要指搭载履带底盘机构的机器人。行走电动机带动履带本体转动，为履带式机器人的行走提供动力；关节电动机带动履带本体调整其行走角度，让机器人本体能够自如地翻越障碍。足型机器人模拟人或动物用腿走路，采用变换支撑腿的方式，将整体的重心从一部分腿转移至另一部分腿上，从而达到行走的目的。轮式机器人底部安装有轮子，通过电

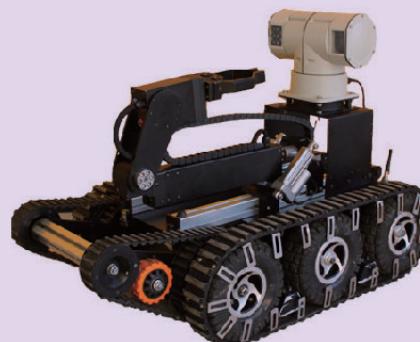


图1-14 履带式机器人

动机带动轮子转动，轮子再将动力传递给整个轮式机器人，从而实现前进、后退、转向等功能。

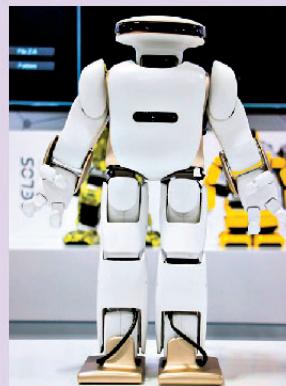


图1-15 足型机器人



图1-16 轮式机器人



二、机器人的控制系统

人脑是人体的“指挥中心”，掌管着人的思维、运动等各种生命活动。机器人和人一样需要有“大脑”来控制动作，机器人的“大脑”叫作控制系统。它根据收集到的环境情况等信息向执行机构发出命令，驱动机器人完成各种指令动作。该部分主要由计算机硬件和控制软件组成（图1-17）。软件主要由人与机器人进行联系的人机交互系统和控制算法等组成。

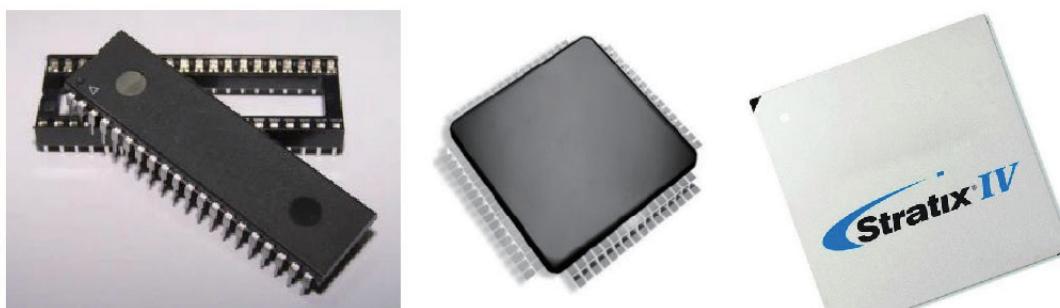


图1-17 控制系统芯片

三、机器人的感知系统

人的感觉器官是用来接收外界信息的，如眼睛、耳朵、皮肤等，可以让人做到眼观四周，耳听八方。传感器是机器人的感知系统，相当于人的感觉器官。机器人的感知系统（图1-18）主要由许多不同功能的传感器组成，一般分为外部传感器和内部传感器两大类。内部传感器用于测定机器人自身的参数、位置和方向，常用的有计程仪、差分计程仪、磁罗盘和陀螺仪等；外部传感器主要用于检测和处理外部环境信息，常用的有触觉传感器、摄像头、超声波传感器、听觉传感器、压力传感器等。在未知的环境中，对

这些传感器及其观测信息进行合理使用，把多个传感器在空间和时间上的互补信息依据某种准则进行组合，以获得被测对象的一致性解释，可以使机器人系统做出更优化的决策。

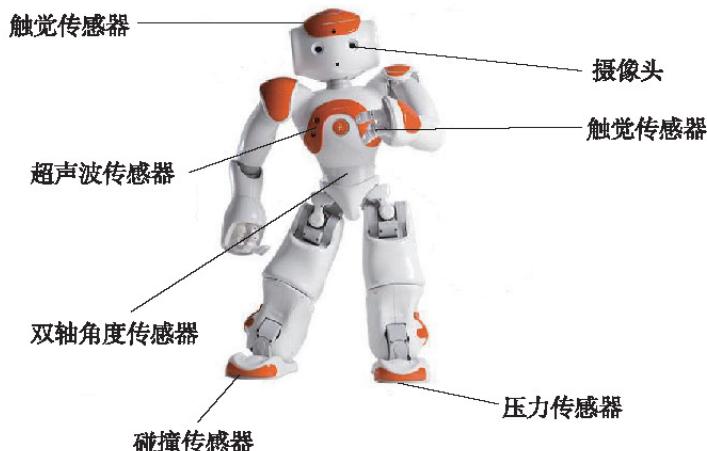


图1-18 机器人的感知系统

问题思考

你能根据前面的介绍简单总结出机器人的工作原理吗？可以用框图表示出来。



四、机器人的设计与制作过程

对于机器人的设计与制作，首先需要根据实际问题和需要提出任务，明确机器人的应用场合及机器人应当实现的功能；根据任务需要，对机器人进行外形、结构设计，传感器功能筛选，控制器选型等，并且制定科学合理的设计方案；对机器人进行理论建模并制作实物模型，以验证设计的合理性；根据设计方案及设计模型，进行控制逻辑规划，从而利用计算机编写程序代码；最后将编写好的程序下载至机器人的控制器中，进行反复调试和改进，使得机器人能够满足任务要求，完成机器人的设计与制作。设计与制作机器人的流程如图 1-19 所示。

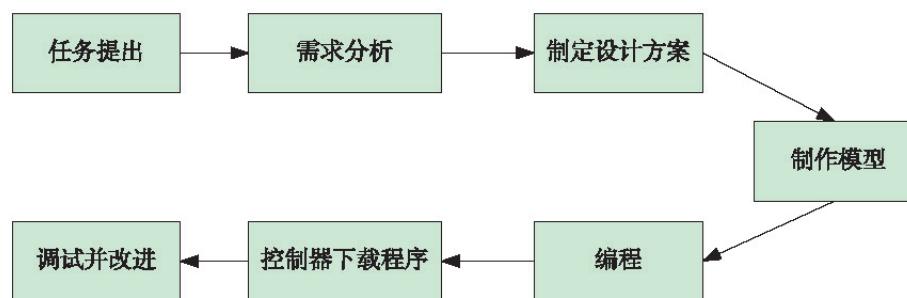


图 1-19 机器人设计与制作流程图

阅读材料**材料一：**

2017年5月23日到27日，在中国乌镇围棋峰会上，AlphaGo（阿尔法狗）以3：0的总比分战胜排名第一的围棋冠军柯洁。在这次围棋峰会期间，AlphaGo还战胜了由陈耀烨、唐韦星、周睿羊、时越、芈昱廷五位实力选手组成的围棋团队。

材料二：

随着人工智能的不断发展，研究智能机器的专家也要懂得神经科学，以便模拟人脑的神经网络构造来制造仿生智能机器。据估计，人类中枢神经系统中约含有1000亿个神经细胞，而每个神经细胞都有数千个突触和其他神经细胞相连，神经细胞通过这些突触相互交流。也就是说，仿生机器人需要拥有数量非常巨大的可以独立运算的处理器和信息中转器。无论是制造这些元件还是整合这些元件，都是几乎难以完成的任务。

**讨论交流**

你认为未来机器人的发展趋势是什么？可以实现哪些新的功能和作用？

**小结与评价****一、小结**

本章主要介绍了机器人的发展历程和机器人的主要技术构成，其中包括机器人三定律、机器人三要素、机器人技术构成以及设计与制作机器人的过程等。

根据下列题目所提供的线索，将本章的学习内容进行小结。

- (1) 机器人三定律、三要素包括哪些内容？
- (2) 当前，从机器人的应用领域来看，机器人主要有哪些类型？
- (3) 机器人的主要技术构成是什么？分别有什么作用？
- (4) 简述设计与制作机器人的一般流程。

二、评价

请结合本章学习的内容，以“机器人是否会在智能上超过人类？为什么？”为题进行小组讨论，并对讨论情况和个人表现进行评价。

自我评价：

。

同学评价：

。

老师评价：

。

第二章 机器人的机械系统

机器人的动作和运动是由它的机械系统来完成的。学习机器人的设计与制作，首先需要了解机器人的机械系统。所谓机器人的机械系统，简单来说就是机器人的机械部分，由各种各样的零件组成。

机器人的机械系统主要包括驱动系统、传动系统和执行系统三个部分。以码垛工业机器人为例，驱动系统为电机，主要负责将电能转化为动能并驱动电机转动；传动系统包含机械臂的连杆传动和机械爪的齿轮传动等，主要负责将驱动系统转化的动能和运动传递到执行系统；执行系统为码垛作业的机械爪，主要负责执行机器人的抓取动作等。

传动系统是机器人机械系统的主要研究内容，在本章中，我们将结合一些实例来学习平面连杆传动机构和齿轮传动机构这两种在机器人中最常见的机械传动机构。

第一节 平面连杆传动机构及其分析

什么是平面连杆传动机构呢？平面连杆传动机构在机器人上有哪些应用呢？

一、常见的平面连杆传动机构

由四个构件组成的平面四杆机构是平面连杆传动机构中最基本且应用最广泛的一种形式。平面四杆机构主要包括：

曲柄摇杆机构（图 2-1）：AD 杆固定不动；AB 杆为初始驱动运动杆件，做整周的旋转运动；BC 杆为传动杆件，将 AB 杆运动传递给 DC 杆；DC 杆为最终运动杆件，做往复摆动。

双曲柄机构（图 2-2）：AD 杆固定不动；AB 杆和 DC 杆为初始驱动运动杆件，同时做整周的旋转运动；BC 杆为最终运动杆件，跟随 AB 杆和 DC 杆运动。如果 AB 杆和 DC 杆长度一致，则 BC 杆在运动过程中始终与 AD 杆保持平行。

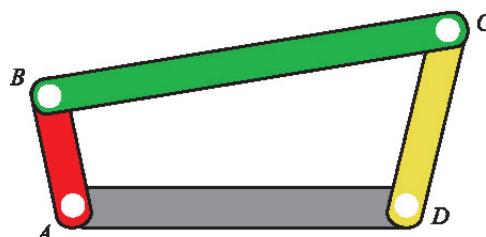


图2-1 曲柄摇杆机构

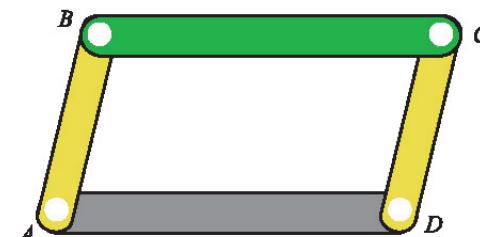


图2-2 双曲柄机构

双摇杆机构（图 2-3）：AD 杆固定不动；AB 杆为初始驱动运动杆件，做旋转的摆动；BC 杆为传动杆件，将 AB 杆运动传递给 DC 杆；DC 杆为最终运动杆件，做摆动。

曲柄滑块机构（图 2-4）：AD 杆为一个带滑槽零件，固定不动；AB 杆为初始驱动运动杆件，做整周的旋转运动；BC 杆为传动杆件，将 AB 杆运动传递给滑块；滑块沿着滑槽做往复的直线运动。

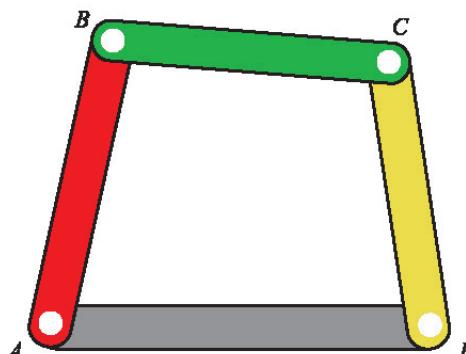


图2-3 双摇杆机构

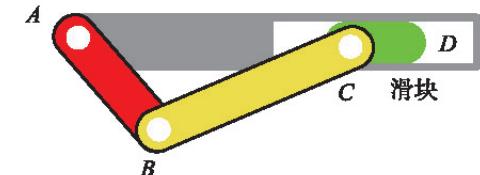


图2-4 曲柄滑块机构

阅读材料

平面四杆机构成立的条件

(1) 杆长之和条件：平面四杆机构的最短杆和最长杆的长度之和小于或者等于其余两杆的长度之和 ($AB+BC \leq AD+DC$)。

(2) 在平面四杆机构中，如果某个转动的点可以整周转动，则它所连接的两个构件中，必有一个为最短杆，并且四个构件的长度关系满足杆长之和条件。

(3) 在满足条件(2)的平面四杆机构中，最短杆两端均可以整周转动。此时，如果取最短杆为机架，则得到双曲柄机构；如果取最短杆的任何一个相连构件为机架，则得到曲柄摇杆机构；如果取最短杆对面构件为机架，则得到双摇杆机构。

(4) 如果四杆机构不满足杆长之和条件，则不论选取哪个构件为机架，所得的机构均为双摇杆机构。

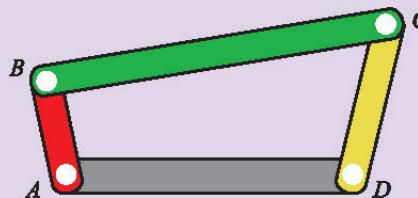


图2-5 曲柄摇杆机构



二、平面连杆传动机构的应用

生活中，我们会接触各种各样运动的机械装置，这些机械装置根据功能来选择传动方式，实现运动效果。有的机械装置需要根据不同的场景进行变形，有的机械装置需要在一个固定的范围内做往复运动……这些机械装置可以用平面连杆传动来实现运动动作，如生活小区的伸缩门（图2-6）、汽车上的雨刮器（图2-7）、固定窗户打开角度的风撑（图2-8）等。



图2-6 伸缩门



图2-7 雨刮器



图2-8 风撑

在机器人的机械传动系统中，平面连杆传动机构也应用广泛。人们常常利用连杆传动装置扩大机器人的有效运动范围，提高机器人的运动效率。例如，码垛机器人（图 2-9）可以将不同外形尺寸的货物整齐、自动地码（或拆）到托盘上（或生产线上等），其大范围抬升动作就采用了平面连杆传动机构的传动方式。四足仿生机器人（图 2-10）是当前仿生机器人研究的热门。人们主要研究其运动，包括行走、转向、跳跃等动作，实现这些动作主要依靠四足仿生机器人的腿部结构。现在市面上大多数运动稳定的四足仿生机器人的腿部结构采用的都是连杆传动机构。



图2-9 码垛机器人



图2-10 四足仿生机器人

讨论交流

生活中还有哪些类似的平面连杆传动机构的应用？请举出实例加以说明。



三、平面连杆传动机构的分析

我们已经对“什么是平面连杆传动机构”有了一个大概的认识，但是怎样去分析平面连杆传动机构的运动呢？接下来，我们将学习分析平面连杆传动机构的基本方法——绘制机构简图。

机构简图是用简单的线条和符号来代表构件和运动副，并按一定比例表示各运动副的相对位置，用以说明机构各构件之间相对运动关系的简单图形。在绘制机构简图之前，需要了解描述机械结构中常用的两个概念，一个是构件，一个是运动副。

(1) 构件：指构成机械系统的部件，简单来说就是组装机械系统所需要的零件。一般一个结构中用到了几个可以相互运动的零件，就表示有几个构件。构件可以分为固定构件和运动构件，固定构件是固定不动的构件，运动构件是相对于固定构件进行运动的构件。下面我们来认识构件在平面连杆传动机构中比较常用的符号。

固定构件表示符号（图 2-11）：一个构件可以根据它的形状大致抽象为几何图形，比

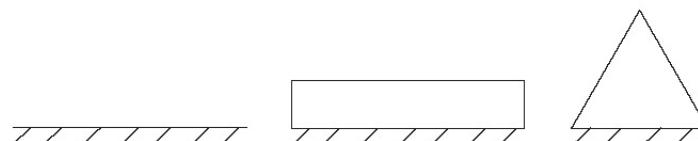


图2-11 固定构件表示符号

如一根线、一个矩形、一个三角形等，然后在图形下方画上斜线表示该构件固定不动。

运动构件表示符号（图 2-12）：平面连杆传动机构中常见的运动是两个构件相互转动，在机构简图中，常用连续的线表示一个连杆构件，用圆圈表示这个连杆构件可以转动。

（2）运动副：运动副表示两个构件相互接触并产生相互运动的关系。两个构件的接触方式可以分为点接触、线接触和面接触。根据接触方式的不同，运动副可以分为转动副和移动副。

转动副：两个构件相交于一点，并且两个构件互相以相交点转动（表 2-1）。

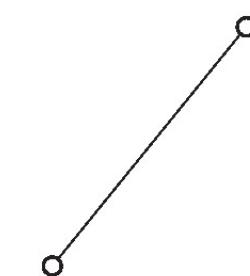


图2-12 运动构件表示符号

表2-1 转动副的表示符号

结构示意图	机构简图符号
<p>构件1 转动点 构件2</p>	

移动副：两个构件互相接触，其中一个构件固定不动（支架），另一个构件沿着固定构件进行移动，例如，在滑块机构中，滑块沿着支架的滑槽进行移动（表 2-2）。

表2-2 移动副的表示符号

结构示意图	机构简图符号
<p>支架 滑槽 滑块</p>	

技术实践

绘制风撑的机构简图

风撑也称二连杆，是把两个独立的连杆连接起来，起到固定、稳定或限位的作用。风撑的用途非常广泛，如使窗扇根据需要开启到一定的角度，限制窗扇随意摆动等。

（1）首先确定风撑机构是由多少个构件组成的，并用数字 1 ~ 3 表示各构件。其中 1 号、2 号构件是连杆构件，3 号构件是滑块（图 2-13）。

（2）接下来，数一下这个机构有多少个运动副，用 A ~ C 表示。其中，A 和 B 为转动副，C 为移动副（图 2-14）。



(3) 最后用简单的线条和符号绘制出风撑的机构简图(图2-15), 注意绘图的构件尺寸要与实物成一定的比例。



图2-13 风撑的构件



图2-14 风撑的运动副

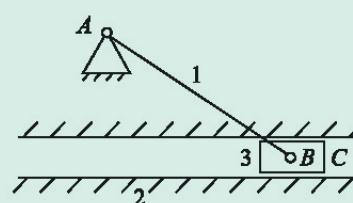


图2-15 风撑机构简图

技术探究

你在生活中见到的汽车雨刮器是怎样运动的? 请你参照“绘制风撑的机构简图”, 绘制出汽车雨刮器的机构简图。



第二节 平面连杆传动机构的制作

通过前面内容的学习, 我们了解了什么是平面连杆传动机构和如何简单分析一个平面连杆传动机构。下面通过实例, 介绍平面连杆传动机构的制作方法和步骤。

一、制作平面连杆传动雨刮器

(一) 雨刮器组件

表2-3 雨刮器组件清单

图样					
名称	10mm 滑轨	3×5 双折面板	5×7 孔平板	7×11 孔平板	机械手驱动
数量	2	2	2	2	2
图样					
名称	机械手指	双足支杆	M3×8 螺钉	M3×10 螺钉	M3×16 螺钉
数量	2	1	22	2	1

续表

图样					
名称	螺母	$\phi 3 \times 2.7$ 轴套	$\phi 3 \times 5.3$ 轴套	$\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱	$\phi 3 \times 20$ 内螺纹螺柱
数量	18	4	2	1	2
图样					
名称	$\phi 3 \times 30$ 内螺纹螺柱	垫片 10			
数量	1	2			

(二) 组装工具的使用

表2-4 组装工具

图样			
名称	内六角扳手	双开口扳手	十字螺丝刀
数量	1	1	1

表2-5 工具的使用

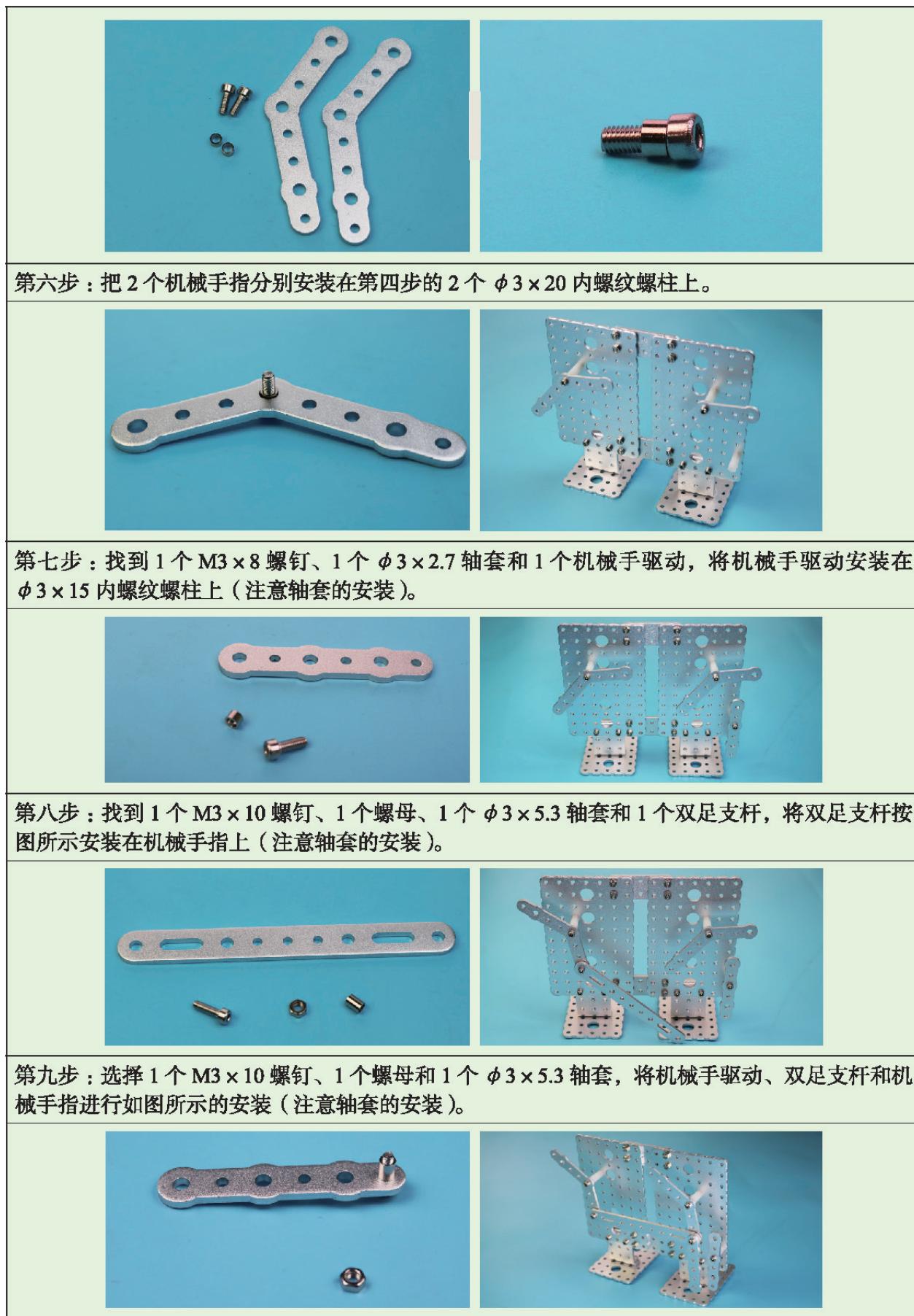
(1) 内六角扳手：拧内六角 M3 螺钉的主要工具。使用示意图如下所示。	
(2) 双开口扳手：固定螺母，方便 M3 螺钉安装的工具。使用示意图如下所示。	(3) 十字螺丝刀：用于安装十字槽 M2 螺钉 (M2 螺钉顶部有一个十字豁口) 的工具。使用示意图如下所示。

(三) 制作雨刮器的步骤

表2-6 制作雨刮器的步骤

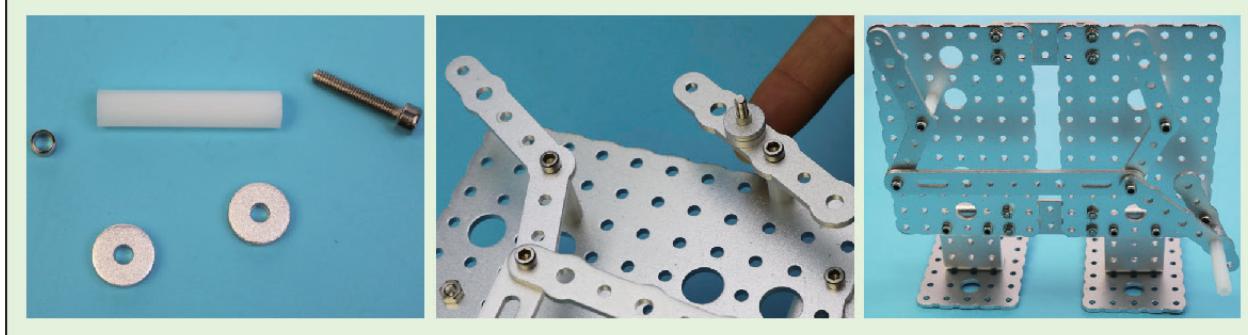
第一步：选择 2 个 10mm 滑轨，用 8 个 M3×8 螺钉、8 个螺母将两个 7×11 孔平板固定。		
第二步：用 4 个 M3×8 螺钉、4 个螺母将 2 个 3×5 双折面板分别固定在 2 个 7×11 孔平板的同侧。		
第三步：用 4 个 M3×8 螺钉、4 个螺母将 2 个 5×7 孔平板分别固定在 3×5 双折面板上。		
第四步：用 3 个 M3×8 螺钉将 2 个 $\phi 3 \times 20$ 内螺纹螺柱和 1 个 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱按图所示固定在 7×11 孔平板上（靠近下端的用 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱）。		
第五步：找到 2 个 M3×8 螺钉、2 个 $\phi 3 \times 2.7$ 轴套和 2 个机械手指，将轴套放置在 M3×8 螺钉上。		

续表



续表

第十步：选择 M3×16 螺钉、2 个垫片 10、1 个 $\phi 3 \times 2.7$ 轴套、1 个 $\phi 3 \times 30$ 内螺纹螺柱，安装在 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱所在的机械手驱动上，完成组装（注意垫片和轴套的放置）。



(四) 调试雨刮器

如图 2-16 所示，转动组装好的平面连杆传动雨刮器，实现机械手指零件的左右摆动。

如果在转动过程中发现结构无法运动，应根据制作步骤检查是否遗漏了需要安装的 $\phi 3 \times 2.7$ 轴套和 $\phi 3 \times 5.3$ 轴套。调试完成后，可以模拟并实现汽车雨刮器的运动效果。

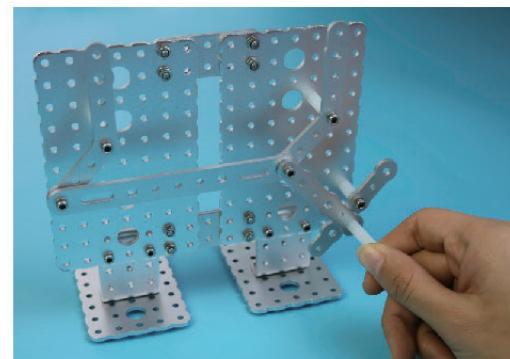


图2-16 平面连杆传动雨刮器的调试

二、绘制平面连杆传动雨刮器的机构简图

在前面的内容中，我们已经制作出一个平面连杆传动雨刮器，并通过实践了解到平面连杆传动雨刮器的动作运行；接下来，我们将利用第一节中绘制机构简图的相关知识，完成平面连杆传动雨刮器的机构简图绘制。

(1) 确定平面连杆传动雨刮器的固定支架，并在简图中根据比例定好 3 个支架的位置(图 2-17)。

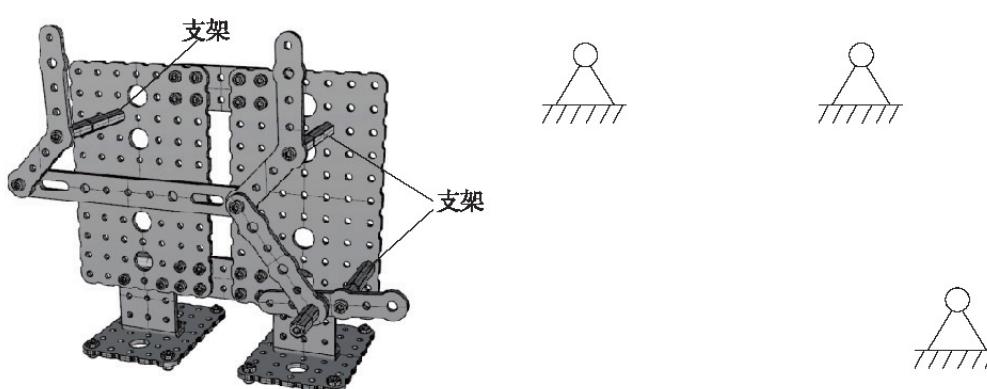


图2-17 平面连杆传动雨刮器固定支架示意图

(2) 确定平面连杆传动雨刮器的运动构件1~5(图2-18)。

(3) 确定平面连杆传动雨刮器的运动副A~F(图2-19)。

(4) 根据确定的支架、构件和运动副，绘制平面连杆传动雨刮器的机构简图(图2-20)。1~5表示雨刮器有5个构件，A~F表示雨刮器有6个运动副，其中在1号构件处标注的箭头表示1号构件为初始转动构件。

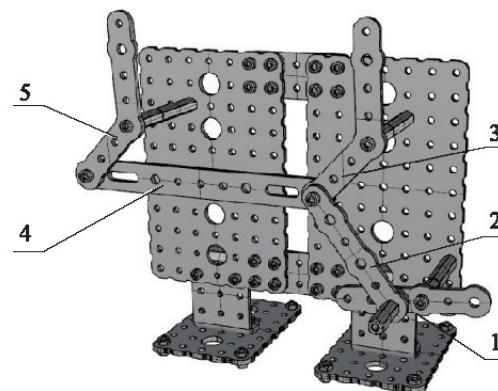


图2-18 平面连杆传动雨刮器运动构件示意图

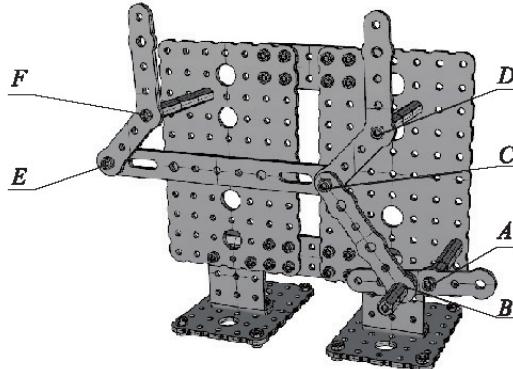


图2-19 平面连杆传动雨刮器运动副示意图

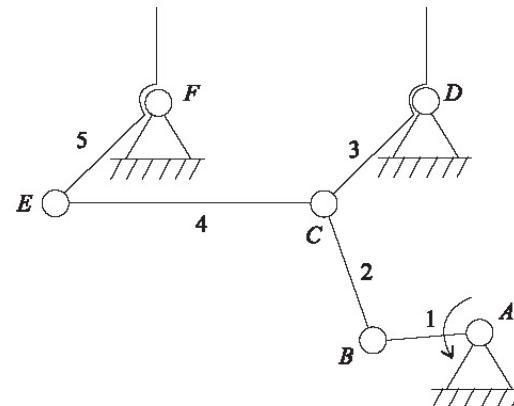


图2-20 平面连杆传动雨刮器的机构简图

讨论交流

简单分析一下平面连杆传动雨刮器用到了哪些平面四杆机构？



第三节 齿轮传动机构及其分析

什么是齿轮传动机构？齿轮传动机构有什么运动特点？齿轮传动机构在机器人中有哪些应用呢？

一、常见的齿轮传动机构

齿轮传动机构是现代机械中应用最广泛的一种传动机构，可用于传递空间中任意两轴的运动和动力。齿轮传动机构具有传动效率高、使用寿命长、结构紧凑等优点，但其传动不够平稳，传动距离短且制造齿轮需要专用机床和设备，成本较高。

齿轮传动的主要形式有以下几种：

两平行轴之间的传动：两个传动齿轮的轴向在同一平面上平行，如圆柱齿轮传动（图 2-21）。这种传动工作可靠、寿命长、效率高、结构紧凑、运转维护简单，常用于减速器等变速装置。

轴垂直交错的传动：两个齿轮的轴向在空间上垂直，如蜗轮蜗杆传动（图 2-22）。这种传动稳定、传动力大、结构紧凑，但传动速度慢，常应用于卷扬机等起重机械。

将旋转运动变为直线运动的传动：一个齿轮演变为带齿的板条，另一个齿轮做旋转运动，带动板条做直线方向的运动，如齿轮齿条传动（图 2-23）。这种传动具有速度快、稳定、传动力大等特点，常应用于龙门镗铣床、玻璃数控切割机、激光切割机等。



图2-21 圆柱齿轮传动

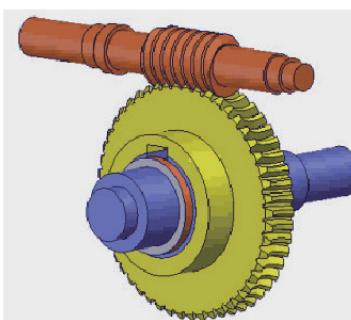


图2-22 蜗轮蜗杆传动

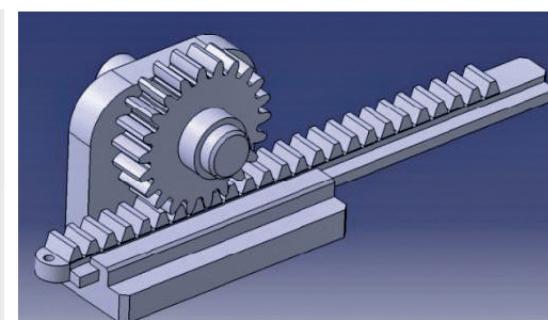


图2-23 齿轮齿条传动

阅读材料

齿轮传动按工作条件的不同，可分为闭式齿轮传动、开式齿轮传动和半开式齿轮传动。开式齿轮传动中，轮齿外露，灰尘易落在齿面；闭式齿轮传动中，轮齿被封闭在箱体内，可保证良好的工作条件，应用广泛；半开式齿轮传动介于两者之间，为了防止外物侵入，常将大齿轮部分浸入油池内，并装有简单的防护罩。



二、齿轮传动机构的应用

在生活中，有许多机器都是用电机驱动的，如电风扇、电动车、洗衣机等。但是，由于电机的转动速度太快，所以一般需要在电机上安装一个减速器（图 2-24），以降低电机输出的转动速度，这个减速器就是由多个齿轮传动机构组成的。

齿轮传动机构在机器人上的应用也很广泛，除了电机中的减速器之外，机械爪（图 2-25）中也常常用到齿轮传动机构。齿轮传动机械爪（图 2-26）主要用来抓取工件或工具，是机器人常用的执行机构之一。

齿轮组构成的机械爪抓取范围较广，抓取工件稳定性较强，常作为码垛机器人、搬运机器人、

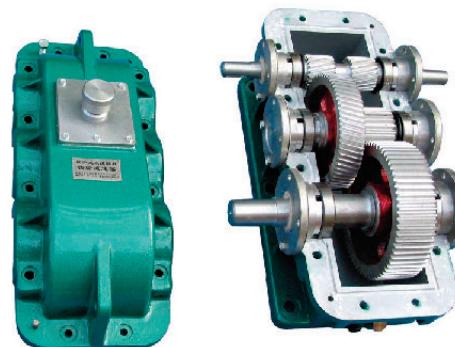


图2-24 减速器

排爆机器人等的执行机构。它的驱动采用运动精度高、动力较大的电机，传动机构采用平面连杆传动机构和齿轮传动机构的组合。



图2-25 机械爪

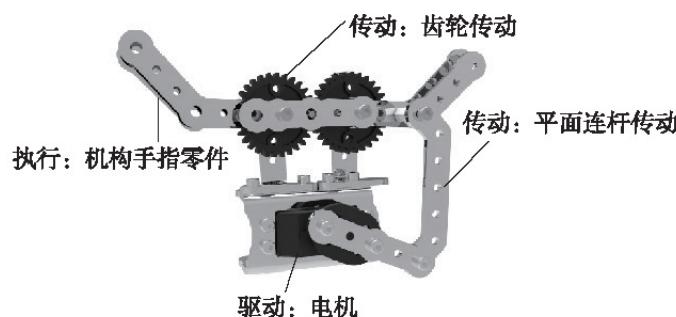


图2-26 齿轮传动机械爪

讨论交流

你还在生活中的哪些地方见过齿轮传动机构？其作用是什么？请举例加以说明。



三、齿轮传动机构的传动比计算

我们已经对常见的齿轮传动机构有了大概的认识，也知道齿轮可以用来改变运动速度，那么，齿轮是如何改变运动速度的呢？接下来，我们将通过学习标准齿轮的基本参数和齿轮的传动比计算来解决齿轮如何改变运动速度的问题。

(一) 标准齿轮的基本参数

齿轮有两个基本参数：一个是齿数，即齿轮齿的总数；一个是模数，用于确定齿的大小。齿数相同的情况下，模数越大，则齿轮越大。两个齿轮需要满足一定的条件才可以传动，这些条件与齿轮的这两个参数有关。

两个齿轮如果可以实现传动，那么两个齿轮的模数要一致。我们常见的标准齿轮的模数为1。

(二) 齿轮传动比的计算

齿轮传动比是表示主动轮与从动轮传动速度的比例。主动轮为齿轮提供动力，是初始转动的齿轮，从动轮不提供动力，由主动轮带动进行运动。

两个传动的齿轮，其传动比与齿数相关，可以通过一个简单的公式（2-1）了解传动比的计算：

$$i = z_2 / z_1 \quad (2-1)$$

式中， i 为传动比； z_1 为主动轮齿数； z_2 为从动轮齿数。

通过传动比我们还可以知道该齿轮传动是减速还是加速。当 $i < 1$ 时，为加速齿轮传动；当 $i > 1$ 时，为减速齿轮传动。

技术探究

如图 2-27 所示, A 齿轮为主动轮(初始转动的齿轮), 齿数 $z=50$, B 齿轮为从动轮, 齿数 $z=30$, A 齿轮和 B 齿轮模数一致。试计算该齿轮传动机构的传动比, 并判断它是减速传动机构还是加速传动机构。

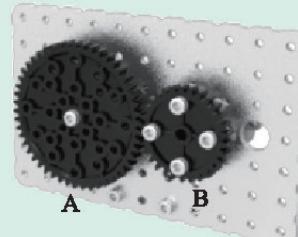


图2-27 模数相同的50齿齿轮(A)和30齿齿轮(B)



第四节 齿轮传动机构的制作

在本章第三节中, 我们已经掌握了齿轮的一些基本参数及齿轮传动比的计算。下面通过实例, 介绍齿轮传动机构的制作方法和步骤, 了解齿轮传动的运动特点。

问题思考

观察图 2-25, 想一想机械爪是通过怎样的运动来实现抓取功能的?



一、齿轮传动机械爪组件

表2-7 齿轮传动机械爪组件清单

图样				
名称	标准舵机	随动齿轮	输出头	40mm 机械手
数量	1	2	1	2
图样				
名称	直流电机支架	机械手指	双足连杆	标准舵机支架
数量	2	4	1	1
图样				
名称	M2 × 6 螺钉	$\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱	M3 × 8 螺钉	M3 × 16 螺钉
数量	1	1	13	2

续表

图样				
名称	M3 × 25 螺钉	螺母	φ3 × 2.7 轴套	φ3 × 5.3 轴套
数量	2	15	1	3
图样				
名称	φ3 × 10.4 轴套	薄垫片	防滑胶套	
数量	2	4	4	

标准舵机可以左右旋转各 90°，如果使用的舵机轴是被旋转过的，那么在安装输出头时需要将标准舵机调整至中间位置。调整方法如表 2-8 所示。

表2-8 标准舵机调整步骤

第一步：将输出头以任意位置安装在舵机上，如图所示。 	第二步：沿顺时针方向转动输出头到极限位置（转不动的位置）。 
第三步：将输出头拔出，以水平的角度安装输出头（由于受到输出头铜齿的影响，可能会出现右侧略微向下倾斜的情况），如图所示。	
	
第四步：沿逆时针方向转动输出头到极限位置，观察输出头的角度及是否与转动前位置对称。可以反复旋转，多观察几次，大致对称即可。	
	

续表

第五步：如果转动前后位置大致对称，则将输出头旋转至竖直位置，调整完成。



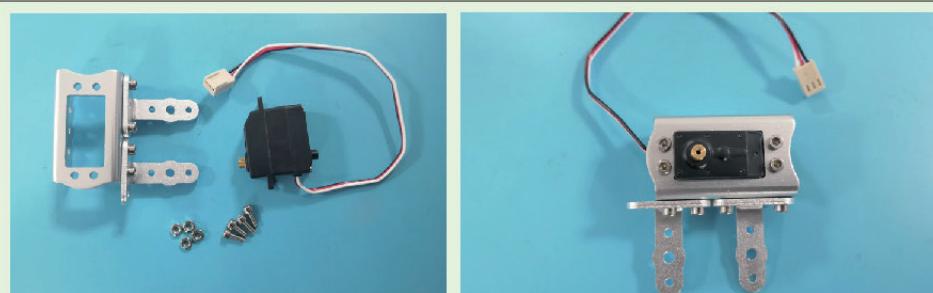
二、制作齿轮传动机械爪的步骤

表2-9 制作齿轮传动机械爪的步骤

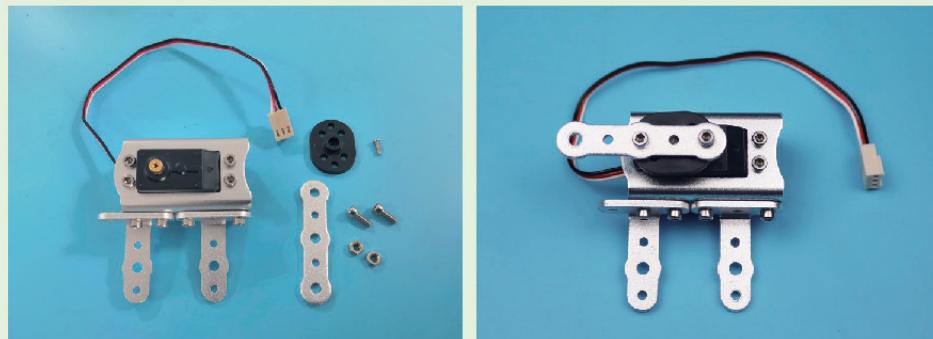
第一步：选择2个直流电机支架、1个标准舵机支架，用4个M3×8螺钉、4个螺母将3个零件固定。



第二步：找到1个标准舵机，用4个M3×8螺钉和4个螺母将标准舵机固定到标准舵机支架上。

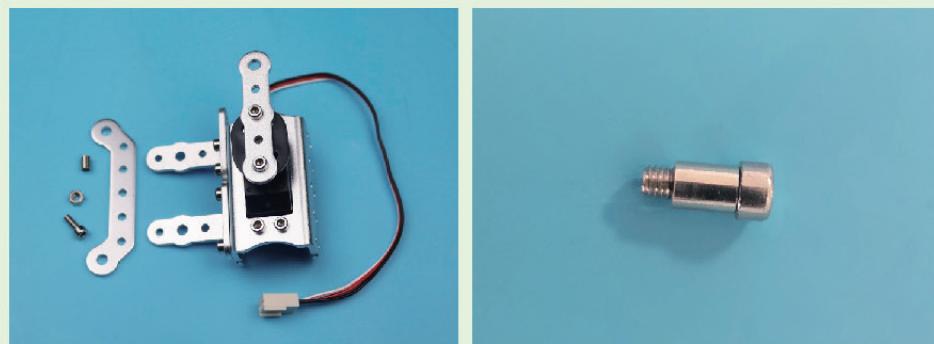


第三步：找到1个40mm机械手和1个输出头；先用1个M2×6螺钉将输出头固定在标准舵机上，再用2个M3×8螺钉和2个螺母将40mm机械手固定在输出头上。

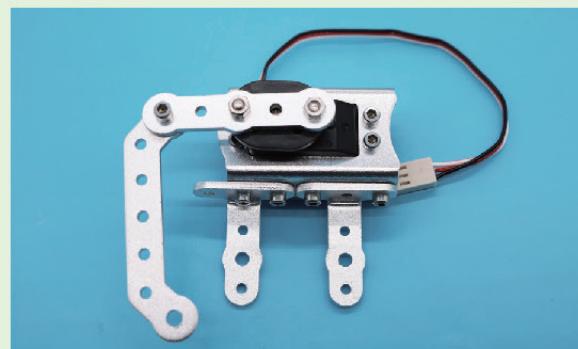


续表

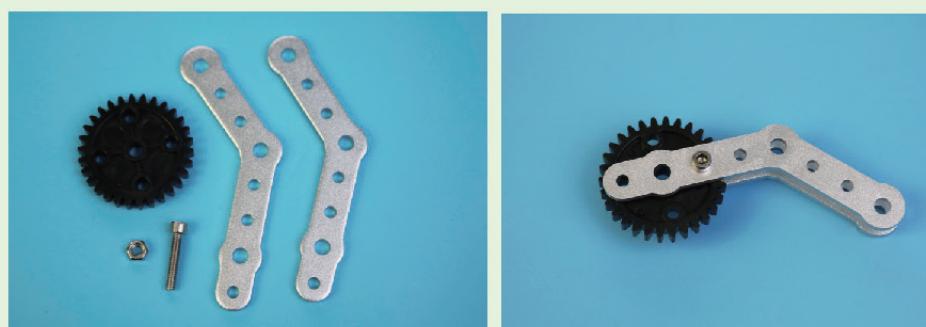
第四步：找到1个双足连杆、1个M3×8螺钉、1个螺母和1个 $\phi 3 \times 5.3$ 轴套，将轴套套在M3×8螺钉上。



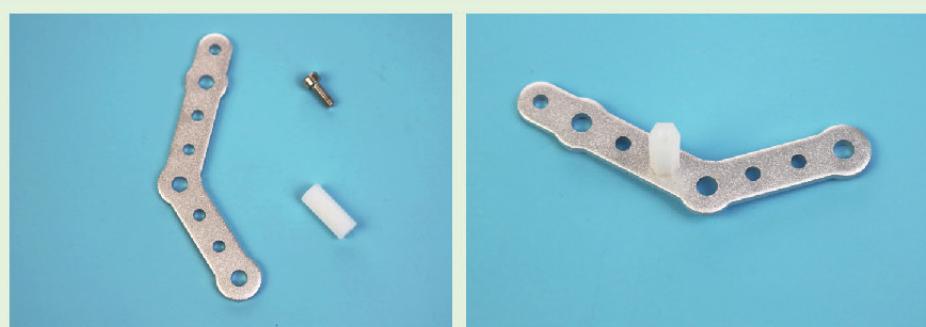
第五步：将双足连杆安装到如图所示的位置。



第六步：找到2个机械手指、1个随动齿轮、1个M3×16螺钉和1个螺母，并按图所示安装。



第七步：找到1个机械手指、1个M3×8螺钉和1个 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱，按图所示安装。



第八步：找到1个机械手指、1个随动齿轮、1个M3×16螺钉和1个螺母，按图所示安装。

续表

	
<p>第九步：在安装的 2 个机械手上按图所示分别安装 1 个 $\phi 3 \times 10.4$ 轴套。</p>	
	
<p>第十步：找到 1 个 40mm 机械手、2 个 $\phi 3 \times 5.3$ 轴套、4 个薄垫片、2 个 M3 × 25 螺钉，按图所示放置。</p>	<p>第十一步：用螺母将第五步、第九步、第十步组装完成的零件按图所示安装。</p>
	
<p>第十二步：找到 1 个 M3 × 8 螺钉、1 个 $\phi 3 \times 2.7$ 轴套，将轴套套在 M3 × 8 螺钉上。</p>	
	
<p>第十三步：用第十二步安装的 M3 螺钉和轴套将双足连杆和 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱按图所示进行安装，完成齿轮传动机械爪的安装。</p>	
	

续表

第十四步：为了增大抓握物体时的摩擦力，可在机械手指上套 4 个防滑胶套，按图所示安装。



三、调试齿轮传动机械爪

如图 2-28 所示，用手转动已经组装好的 40mm 机械手零件，观察机械爪是否可以顺畅地实现开合。如果无法开合或者开合不顺畅，则应根据制作步骤图对结构进行检查，尤其要检查轴套的安装。

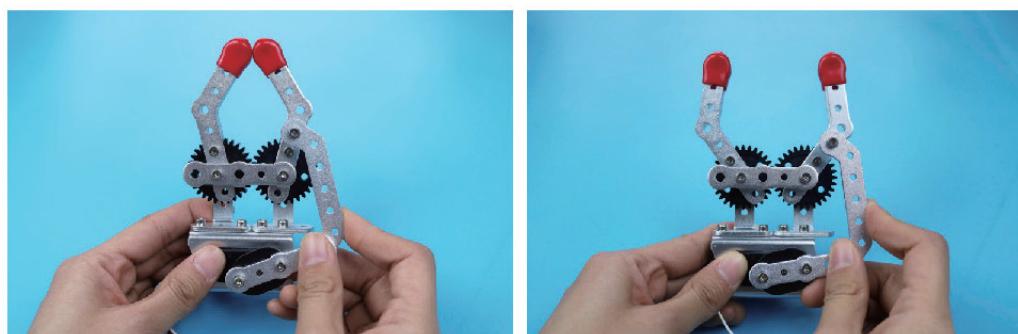


图2-28 机械爪开合调试

结构调试完成后，模拟并实现机械爪的抓取功能。

技术探究

计算组装的机械爪中齿轮传动机构的传动比。



第五节 提升装置的设计与制作

在前面的学习中，我们已经掌握了平面连杆传动机构和齿轮传动机构的基本结构及运动分析，也分别制作了平面连杆传动机构和齿轮传动机构。下面，我们将结合前面所学，完成一个提升装置的设计与制作。

一、任务分析

设计一个简易的提升装置，可以实现将一个物体在3cm的高度范围内抬升和放下，并实现往复动作。本任务可以选择使用平面连杆传动机构、齿轮传动机构及齿轮组和平面连杆传动机构组合的混合机构等。

二、方案设计

根据任务要求可知，我们首先需要考虑如果使用齿轮传动机构作为抬升装置，很难满足提升高度的要求，因此可以选择运动行程较长的平面连杆传动机构的传动方式。

其次，设计的提升装置需要实现抬升和放下的往复运动，即该装置的初始运动构件需要做往复运动，最好是进行圆周运动，因此可以选择齿轮组或者曲柄连杆机构实现该功能。

如果选择曲柄连杆机构中的构件作为初始运动构件，将会很难控制输出稳定。而选择齿轮组进行初始运动，可以平稳地输出旋转运动，并且还可以采用不同的齿轮组改变运动频率。

综上，我们选择齿轮组和平面连杆传动机构组合的混合机构。其中，齿轮组作为动力输出机构，平面连杆传动机构作为抬升和放下往复运动的执行机构。

三、提升装置的制作

表2-10 提升装置的组件清单

图样					
名称	随动齿轮	3×5 双折面板	7×11 孔平板	φ3×20 内螺纹螺柱	机械手驱动
数量	2	3	1	1	2
图样					
名称	双足支杆	M3×6 螺钉	M3×8 螺钉	M3×10 螺钉	φ3×2.7 轴套
数量	1	11	7	3	4
图样					
名称	φ3×5.3 轴套	φ3×10 内螺纹螺柱	φ3×30 内螺纹螺柱	螺母	
数量	2	6	1	6	

表2-11 提升装置的制作步骤

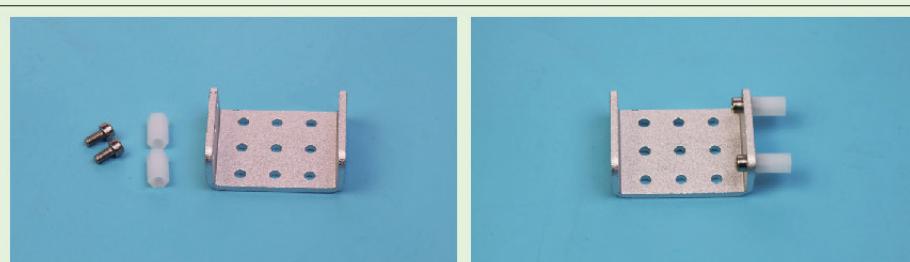
第一步：找到1个 3×5 双折面板、2个M3×6螺钉、2个 $\phi 3 \times 10$ 内螺纹螺柱，按图所示安装。



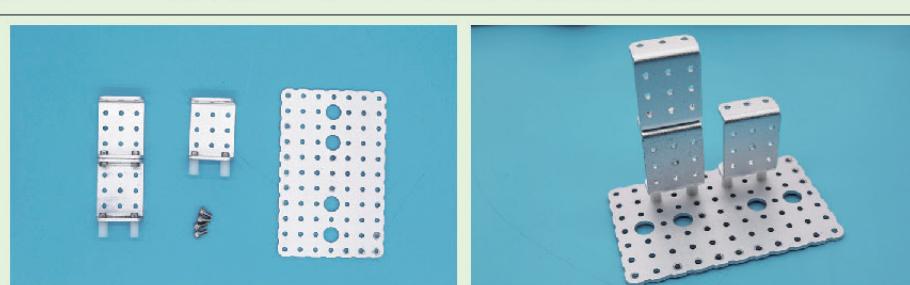
第二步：找到1个 3×5 双折面板、2个M3×8螺钉、2个螺母，按图所示安装。



第三步：找到1个 3×5 双折面板、2个M3×6螺钉、2个 $\phi 3 \times 10$ 内螺纹螺柱，按图所示安装。



第四步：找到1个 7×11 孔平板和4个M3×6螺钉，按图所示安装。



第五步：找到1个 $\phi 3 \times 20$ 内螺纹螺柱和1个M3×6螺钉，按图所示安装。

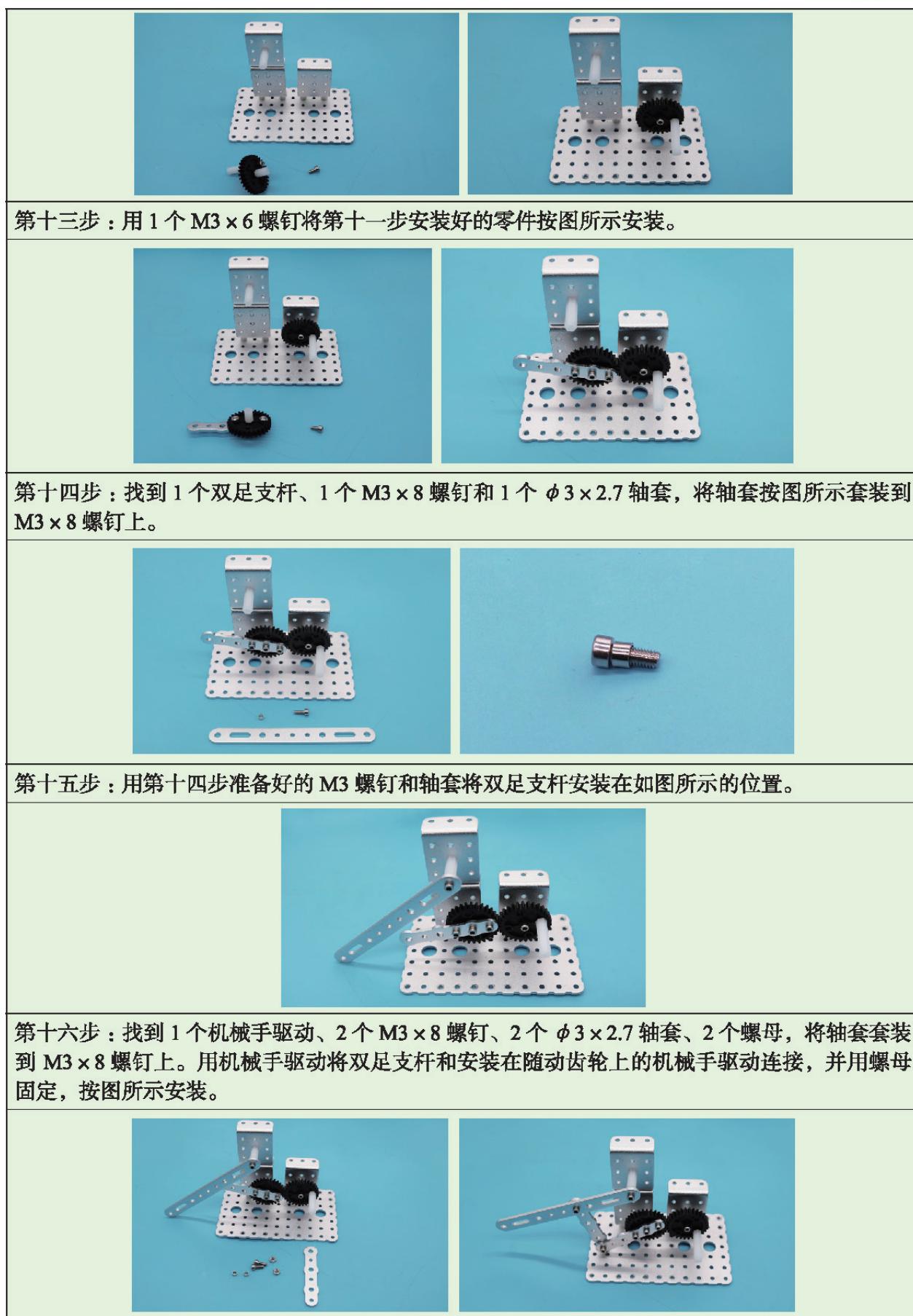


第六步：找到1个随动齿轮和1个 $\phi 3 \times 5.3$ 轴套，按图所示放置。

续表

第七步：找到 1 个 $\phi 3 \times 30$ 内螺纹螺柱、1 个 $\phi 3 \times 10$ 内螺纹螺柱、2 个 M3 × 8 螺钉，按图所示安装。	
第八步：找到 1 个随动齿轮和 1 个 $\phi 3 \times 5.3$ 轴套，按图所示放置。	
第九步：找到 1 个机械手驱动、2 个 M3 × 10 螺钉、2 个螺母，按图所示安装。	
第十步：找到 1 个 $\phi 3 \times 10$ 内螺纹螺柱、1 个 M3 × 10 螺钉、1 个 $\phi 3 \times 2.7$ 轴套，将轴套放置在 M3 × 10 螺钉上，按图所示安装。	
第十一步：用第十步准备好的 M3 螺钉和轴套将内螺纹螺柱安装在随动齿轮上，按图所示安装。	
第十二步：用 1 个 M3 × 6 螺钉将第七步安装好的零件按图所示安装。	

续表



四、调试提升装置

如图 2-29 所示，转动最右边的 $\phi 3 \times 30$ 内螺纹螺柱，观察机构是否可以顺畅地转动。如果出现转动不顺畅的问题，则应根据制作步骤进行检查，主要检查步骤中提到的关于轴套的安装是否有安装不正确和遗漏等问题。



图2-29 调试提升装置

调试完成之后，用手转动内螺纹螺柱，观察运动机构端点的运动是否可以抬升 3cm。

技术探究

- (1) 如果用 50 齿的齿轮替换原动件齿轮，其运动效果有什么变化？
- (2) 在设计、制作提升装置时，除了前面选择的齿轮组和平面连杆传动机构组合的混合机构外，是否还有其他能够满足要求的设计方案？请以小组为单位，根据任务进行方案设计及制作、调试，然后对该提升装置的运动效果等方面进行评价。



小结与评价

一、小结

本章介绍了机器人的机械系统组成，重点对平面连杆传动机构和齿轮传动机构进行了学习。根据下列题目所提供的线索，对本章的学习内容进行小结。

- (1) 机器人的机械系统由哪几部分组成？
- (2) 什么是机构简图？如何绘制平面连杆传动机构的机构简图？
- (3) 齿轮传动比是如何计算的？齿轮传动的运动特点是什么？

二、评价

请结合本章学习的内容，针对小组合作设计、制作提升装置的情况进行评价。

自我评价：_____。

同学评价：_____。

老师评价：_____。

第三章 机器人的控制系统

机器人的控制系统是决定机器人功能和性能的主要因素，在一定程度上体现着机器人技术的发展水平。机器人控制系统的主要任务是控制机器人在工作空间中的运动位置、动作顺序和动作时间等。

本章我们将主要通过对机器人控制器和控制程序的学习，进行简单的机器人编程练习，从而进一步深入了解机器人的控制系统。

第一节 机器人的控制器

当前，智能制造时代已经到来，我国也进入了智能制造新的发展阶段。面对现代智能化工作环境的高要求，开发“具有开放式结构的模块化、标准化机器人控制器”是当前机器人控制器的发展方向。

机器人控制器主要可分为单片机、嵌入式、PC工控机、可编程逻辑控制器（PLC）等。嵌入式多应用于图形图像识别及相关设备研发；PC工控机和可编程逻辑控制器（PLC）更多应用于工业自动化生产；而单片机由于其控制电路原理简单、运行性能良好、系统成本低等特点，在各个领域都被广泛应用。

下面我们将以单片机为核心介绍机器人的控制电路和外围电路。

一、单片机

自1946年世界上第一台电子计算机问世以来，计算机的发展可谓突飞猛进、日新月异，正在朝着高速度、大容量、高性能的方向不断发展，其应用范围也日益广泛。然而，在实际工作中，并不是任何需要计算机的场合都要求计算机有很高的性能。例如，一个控制电冰箱温度的计算机，采用Core i7处理器合适吗？显然，这不仅是大材小用，而且会提高冰箱的成本。应用的关键是看能否满足设计要求，能否有很好的性能价格比。为了满足不同应用需求，计算机也在朝着微型化、价格低廉的方向发展，由此就出现了单片机（图3-1）这一新事物。

简单地说，PC机是将CPU（中央处理单元）、数据存储器、程序存储器、输入/输出设备（如串行口、并行输出口等）这些部分分成若干独立的模块，然后安装在一个称为主板的印刷线路板上。而在单片机中，这些部分全部被集成到一块集成电路芯片中，所以就称为单片微型计算机，简称单片机。由于它常常是针对工业控制以及与控制有关的数据处理而设计的，故又被称为微控制器（Microcontroller）。单片机从20世纪70年代诞生以来，在功能与性能上不断改进与提高，迄今为止，已经历了4次更新换代。

阅读材料

单片机的特点

- (1) 体积小：单片机能用一个只有人指甲大小的芯片来实现大规模集成电路的功能。但最早发明的计算机却有30余吨，体积庞大，即便是今天的计算机，也



图3-1 单片机

仍然比单片机大上千倍。在短短的几十年里，单片机能够做到如此高度的集成化，是在市场需求的强大推动下，不断进行技术改进和技术创新的结果。体积小有利于产品的小型化，使单片机应用领域更为广阔。

(2) 低电压与低功耗：几乎所有的单片机都有等待、暂停、睡眠及空闲等省电运行方式，而且允许使用的电源电压范围也越来越宽。一般单片机都能在3~6V电压范围内工作。如果单片机采用电池供电，就不需要对电源采取稳压措施。目前，有的单片机最低供电电压已由2.7V降至2.2V、1.8V，甚至有0.9V供电电压的单片机问世。这就使单片机可以用于需要节电的场合，如便携式仪器、节能冰箱等。

(3) 抗干扰：各单片机商家在单片机内部电路中都采用了一些新的技术措施，如增加看门狗定时器、抗电磁干扰电路等。这样可以提高单片机的抗干扰能力，使其能够更加适应恶劣的工作环境，拓宽了其应用领域。



二、机器人控制电路

机器人控制电路是机器人的指挥中心，决定着机器人的一切行动。控制电路向执行机构发出命令，就可以驱动机器人完成各项指令动作。本书所采用的机器人控制电路是以ATmega328单片机为核心的控制板（图3-2）。

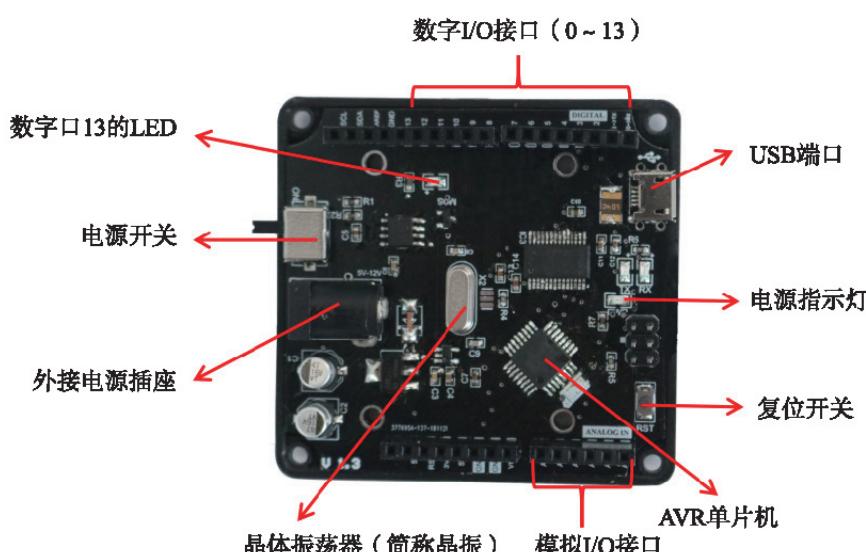


图3-2 以ATmega328单片机为核心的控制板

在图3-2所示的控制板中，ATmega328单片机处于核心地位，位于控制板的背面，是构成整个控制板硬件和软件的基础。外接电源插座用于连接锂电池，并可通过打开电源开关对控制板进行供电。在电源连接正确且电源开关打开的情况下，电源指示灯常亮，否则常灭。数字I/O接口（DIO接口模块）和模拟I/O接口（A/D、D/A接口模块）是单片机与外界交换数据的通道。USB端口是连接上位机的接口，用于上位机给单片机下载程序。数字口13为可控制的LED灯。

讨论交流

你认为控制板中不可缺少的元件有哪些?



用最少的元件组成并能使单片机简单运行的系统称为单片机的最小系统，一般主要包括时钟电路、电源电路和复位电路。

(一) 时钟电路

时钟电路就是产生像时钟一样准确运动的振荡电路。晶振（图 3-3）是时钟电路中重要的组成部分，其作用是为系统提供基本的时钟信号。因为单片机执行接收到的指令都需要建立在单片机晶振提供的时钟频率上，所以晶振提供的时钟频率越高，单片机的运行速度越快。通常一个系统共用一个晶振，便于各部分保持同步。本书所采用的时钟电路（图 3-4）中的 Y1 为一个 16MHz 的晶振。

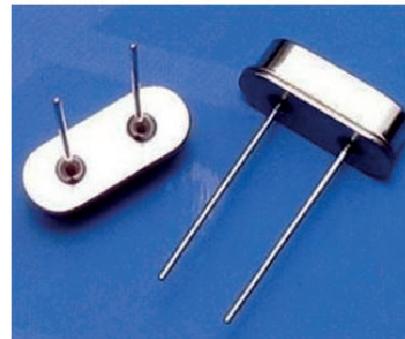


图 3-3 晶振实物图

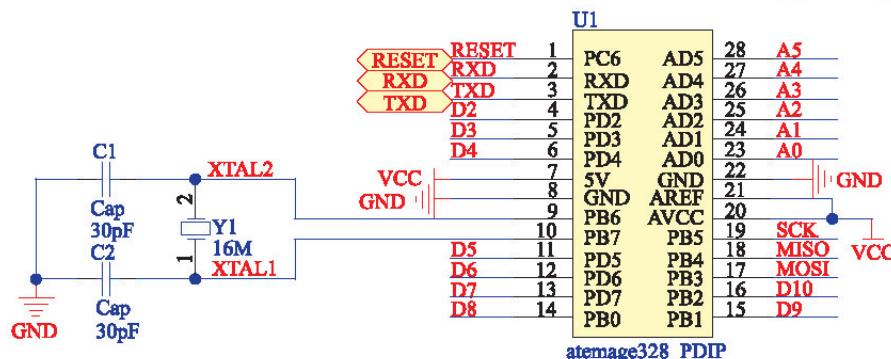


图 3-4 时钟电路原理图

(二) 电源电路

电源电路是为整个系统提供电源的供电模块。电源电路的稳定可靠是系统平稳运行的前提和基础。本书所采用的电源电路（图 3-5）是通过稳压电路中的 LM1117（正向低压降稳压器）固定输出 5V 电压。C7 和 C8 是输出滤波电容，作用是抑制自激振荡。如果不接这两个电容，通常线性稳压器的输出会出现振荡波形。C5 和 C6 是输入电容，在外界电磁干扰较大的情况下，这些电容有抑制干扰的作用。

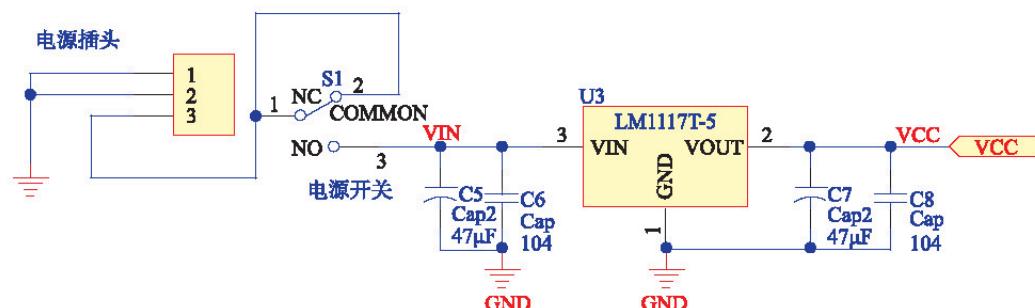


图 3-5 电源电路原理图

(三) 复位电路

复位电路是一种用来使单片机恢复到起始状态的电路，其操作原理与计算器清零按钮有异曲同工之处，只是启动原理和手段有所不同。启动手段主要有以下3种：一是在给电路通电时马上进行复位操作，二是在必要时可以手动操作，三是根据程序或者电路运行的需要自动进行。本书所采用的复位电路（图3-6）为：按下按钮S1，RESET输入端将低电平送入单片机，使单片机复位，程序回到起始状态重新执行。

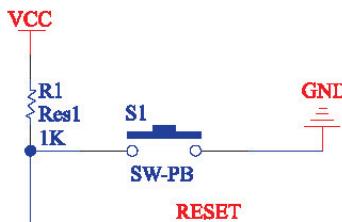


图3-6 复位电路原理图

三、机器人控制器的外围电路

为了使单片机能真正控制机器人动作，我们需要通过外围电路扩展板（图3-7）来连接其他设备，如直流电机、舵机、传感器等。本书所采用的外围电路扩展板包含传感器接口、舵机接口、直流电机接口等。

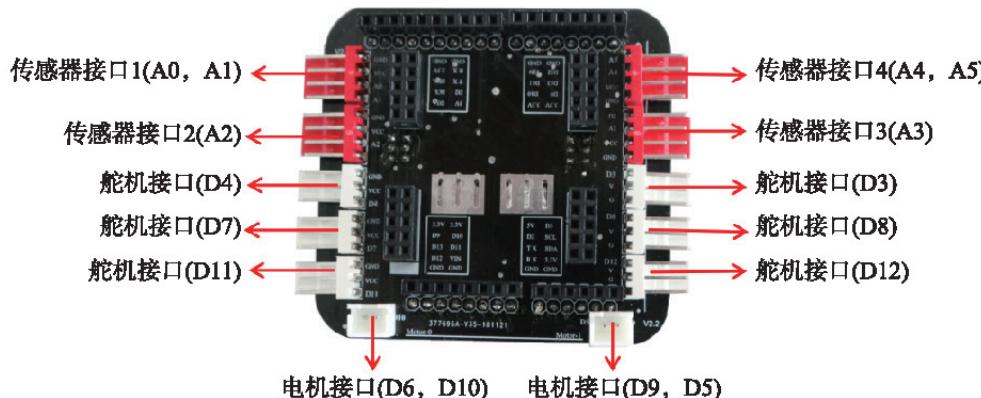


图3-7 外围电路扩展板

(一) 传感器接口

如图3-7所示，外围电路扩展板上共有4个红色接口，可用来外接数字量或模拟量传感器，其可用针脚号为A0～A5。在接下来的学习中，我们需要在图形化界面中进行编程，但针脚参数无法输入英文，需要用另一种写法来代替，因此我们在这里规定将A0～A5相对应地写成14～19。但当使用A0～A5针脚接收灰度传感器的数字量信号时，还需要用到A/D转换模块；当使用D3、D11针脚控制舵机，使用D6、D10或D9、D5针脚的模拟量控制直流电机时，还需要用到D/A转换模块。

阅读材料

在机器人控制器和一些传感器的实际应用中，我们会运用到A/D和D/A转换模块，可以将模拟信号和数字信号进行相互转换。

A/D转换模块是将模拟信号转换成数字信号的电路，称为模数转换器（简称A/D转换器）。A/D转换器的作用是将时间连续、幅值也连续的模拟量转换为时间

离散、幅值也离散的数字信号。

D/A 转换模块是将数字信号转换成模拟信号的电路。数字量是用代码按数位组合起来表示的，对于有权码，每位代码都有一定的权。为了将数字量转换成模拟量，必须将每位代码按其权的大小转换成相应的模拟量，然后将这些模拟量相加，即可得到与数字量成正比的模拟量。



(二) 舵机接口

如图 3-7 所示，外围电路扩展板上共有 6 个白色接口，可以用来外接舵机。每个接口都有 3 个针脚，分别为 VCC、GND 和信号输出针脚。信号输出针脚的针脚号分别对应为 D3、D4、D7、D8、D11、D12。在连接舵机时，舵机连接线（图 3-8）中的 VCC 对应红色电源线，GND 对应黑色地线，信号输出针脚对应白色信号线。如果连线接错，有可能造成舵机损坏。在图形化界面编程时，我们可以直接输入白色信号线对应的针脚号，即 3、4、7、8、11、12。



图3-8 舵机连接线

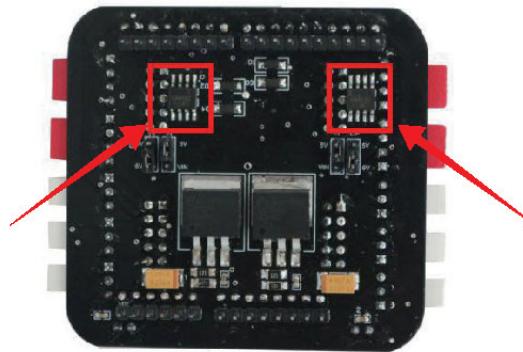


图3-9 直流电机驱动模块

(三) 直流电机接口

如图 3-7 所示，外围电路扩展板上有两对朝下的插针，分别为 (D6, D10) 和 (D9, D5)，可用来连接直流电机。由于单片机无法与直流电机直接相连，因此如果单片机想要控制直流电机，还需要连接一个“直流电机驱动模块”（图 3-9）。该驱动模块位于外围电路扩展板背面。在直流电机的实际应用中，我们需要一种控制信号随时调节电压、电流，从而控制机器人的转速、转矩和位置等，这种控制信号是由单片机给出的，但其无法直接改变电压、电流，所以需要加驱动系统，将指令真正转化为行动。

(四) 控制板与外围电路扩展板的连接

本书所采用的控制器主要由控制板和外围电路扩展板组成，要想使控制器能真正在机器人上应用起来，我们需要先连接好控制板和外围电路扩展板。连接时，如图 3-10 所示，控制板在下，外围电路扩展板在上，通过插针将外围电路扩展板堆叠在控制板上，即完成正确连接。

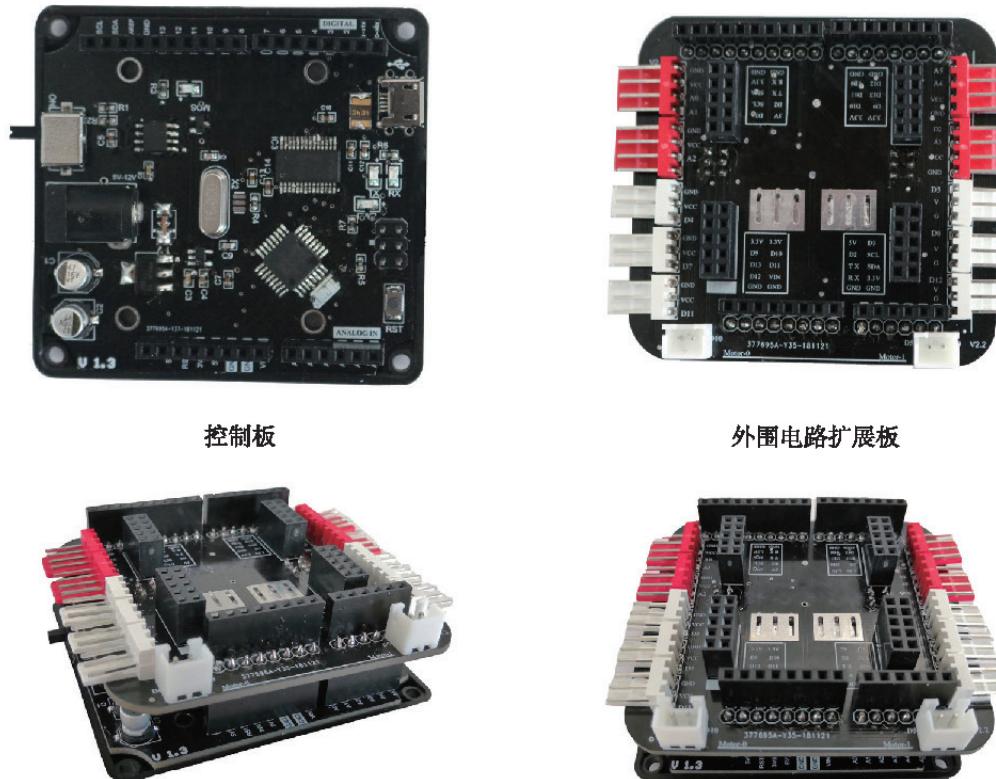


图3-10 控制板和外围电路扩展板的连接图

技术实践

观察控制板和外围电路扩展板实物，进一步了解其各组成部分及接口的功能和作用，并完成控制板和外围电路扩展板的连接。



第二节 机器人的控制程序

机器人的控制程序是为使机器人完成某种任务而设置的动作顺序描述。机器人运动和作业指令都由程序控制完成。

一、编程语言

语言是一种传递信息的媒介。机器人工作时，我们要给机器人发出一些命令，告诉机器人在接到什么样的信号时，应当做出何种响应，这些命令就是我们要编写的程序。我们把用来编写程序的语言称为编程语言。编程语言可分为低级语言和高级语言，低级语言又分为机器语言和汇编语言。

机器语言：给机器发布命令不是用人与人之间使用的语言，机器只懂一样东西——数

字，而且只能是由“0”和“1”组成的有序序列，如0100110、0111010等字串，由这种有序序列组成的集合就叫作机器语言。那么“0”和“1”两种信号对应的物理意义是什么呢？通常规定，用“1”表示高电平，用“0”表示低电平。机器语言是唯一能被计算机直接识别和执行的语言，但这种语言写起来非常复杂，比较难学、难记，不易理解。

汇编语言：鉴于机器语言存在缺点，人们又发明了一种比较容易让人接受的英文缩写来表示某个特定的“0”和“1”组成的有序序列，并用这些英文缩写来编写程序，这种编程语言叫作汇编语言。例如，用add代表加法指令，用sub代表减法指令。机器是不能识别这种语言的，它必须被翻译成机器语言，才能被识别和执行。与机器语言相比，汇编语言比较易于记忆、掌握，便于阅读，但汇编语言的可读性仍然较差，也不好理解。

高级语言：为了克服低级语言的缺点，人们又发明了一种可读性较好、容易理解的高级语言。高级语言独立于计算机硬件，采用接近人们的表达方式、功能完善的语句形式，易于被人们掌握。例如，高级语言的加法指令和减法指令与我们数学中的“+”和“-”运算符相同。这种语言同样需要被翻译成机器语言，才能被机器接受。机器语言是一切语言的基础。高级语言有很多种，而且在不断地发展。

阅读材料

世界上最早出现的高级语言是FORTRAN语言。目前，国内外比较通用的高级语言有FORTRAN、Pascal、C语言等。

使用高级语言编写程序时，不必深入掌握计算机的内部结构和工作原理，而且高级语言可以适用于不同的计算机，或者说，对不同的计算机具有通用性。因此，高级语言一出现，就得到了广泛的应用。



二、配置图形化编程环境

本书采用Arduino作为开发平台。Arduino是目前世界上最流行的开源硬件开发平台，使用简便，操作灵活，学习门槛低。它包括可以用来制作控制电路的硬件平台（控制板）和可以用来编写程序的开发环境（软件）。其中硬件平台有许多不同的型号，而且允许人们参考其方案进行设计。

Arduino的编程是基于C语言开展的。与传统的单片机开发不同，Arduino的编程封装性非常高，有大量可以直接调用的库函数，而且人们还在不断丰富它的函数库。使用者不需要去关心单片机编程中的寄存器、指针等烦琐的细节，而是可以把更多的精力用于做出作品。

（一）驱动程序安装

（1）以Windows7系统为例，将控制板连上电脑，从设备管理器中找到它所占用的“COM”和“LPT”端口。如果驱动程序没有安装，请点击右键并选择“更新驱动程序”，进入新硬件添加向导。选择“从列表或指定位置安装”，点击“下一步”（图3-11）。

（2）选择驱动程序所在文件夹“arduino-1.5.2\drivers\FTDI USB Drivers”（图3-12）。



图3-11 选择“从列表或指定位置安装”



图3-12 选择驱动程序所在文件夹

(3) 驱动程序将完成安装，点击“完成”(图3-13)。

(4) 在设备管理器中可以看到COM端口号(图3-14)。



图3-13 点击“完成”

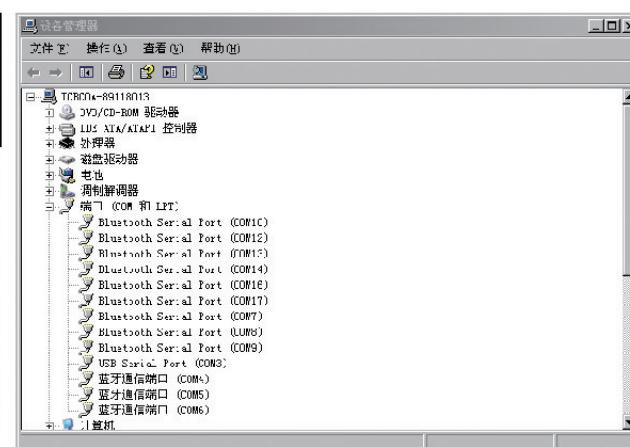


图3-14 找到COM端口号

(二) 认识编程界面

Arduino官方的编程IDE有很多版本，我们选择绿色安装版本1.5.2(图3-15)作为例子进行说明。

在C语言界面上点击菜单栏的Tools→ArduBlock即可打开图形化界面。这是一个由国内人员开发的插件，为中文界面，使用起来非常方便。与常见的流程图编程方式不同，这个图形化界面(图3-16)是严格的C语言结构。

图形化程序拼接完成后，连上控制板，在Tools菜单中选择好Board(Arduino Uno)、Serial Port(COM端口号)，再点击“上载到

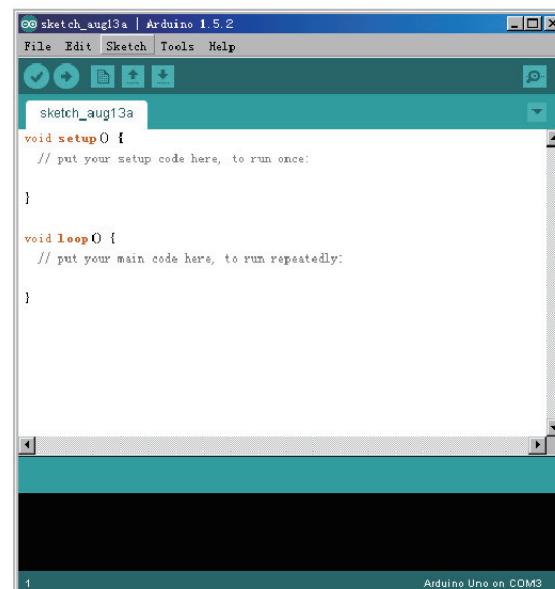


图3-15 Arduino1.5.2的C语言界面

“Arduino”按钮，即可编译并烧录。同时，还会在C语言界面生成对应的C语言的代码（图3-17），供使用者对比学习。

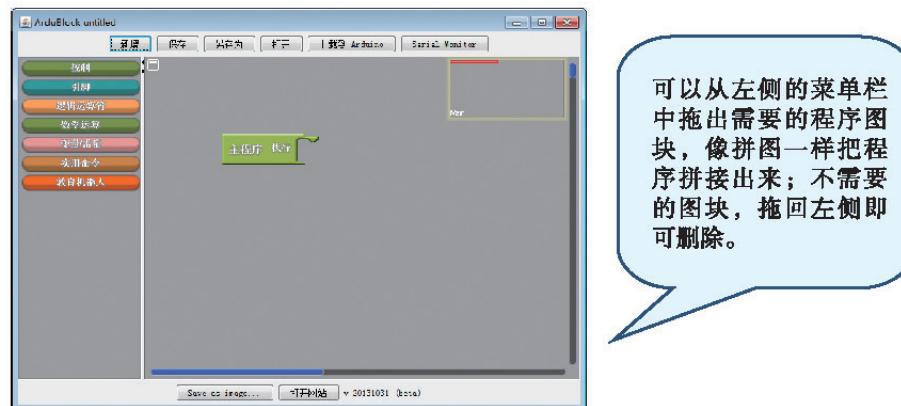


图3-16 ArduBlock的图形化界面

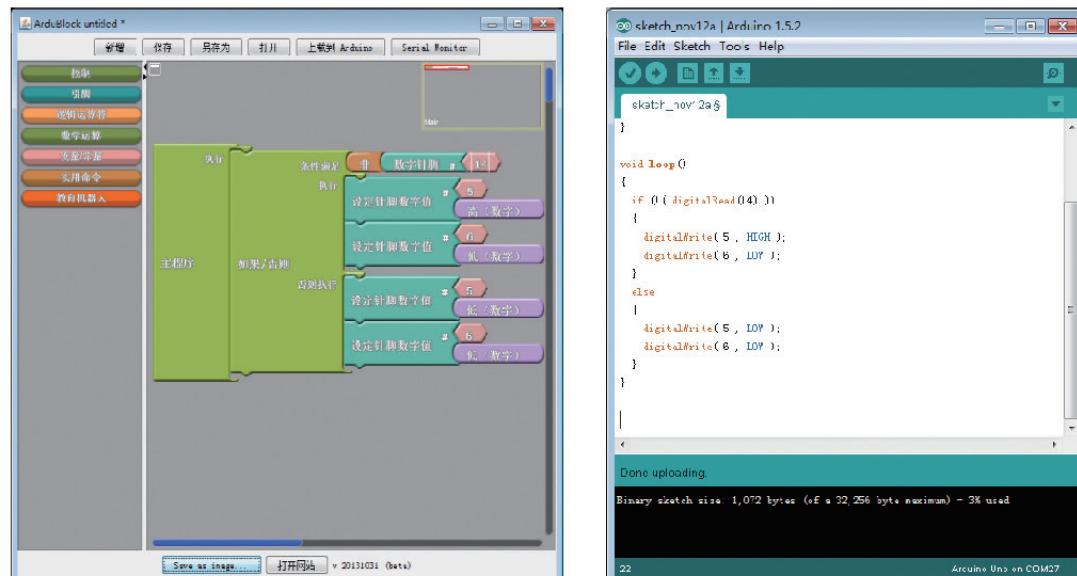


图3-17 语言界面生成对应的C语言的代码

三、常用的功能图块和函数

常用的功能图块和函数如表3-1所示。相关的图块还有很多，包括逻辑运算图块和数学运算图块，这些与C语言本身关系不大，大家可以在使用中学习。

表3-1 常用功能图块和函数

图块	对应函数或语句	说明
主程序 程序语句	loop()	程序中只允许有一个主程序。主程序能调用子程序，但不能被子程序调用。
如果 条件满足 执行 程序语句1	if	选择结构，如果满足条件A，则执行程序语句1。

续表

图块	对应函数或语句	说明
如果/否则 条件满足 A 执行 程序语句1 否则执行 程序语句2	if.....else	选择结构，如果满足条件 A，则执行程序语句 1，否则执行程序语句 2。
重复 变量 变量名称 次数 N 执行 程序语句	for	循环结构，定义一个变量名称，若设定循环 N 次，则重复执行 N 次程序语句。
子程序 执行 程序语句	子程序	编写子程序。
数字针脚 # 输入端针脚号	digitalRead()	读取数字针脚值（取值为 0 或 1）。
模拟针脚 # 输入端针脚号	analogRead()	读取模拟针脚值（取值在 0~1023 之间）。
设定针脚数字值 # 输出端针脚号 选择“高/低”电平	digitalWrite()	设定数字针脚值（0 或 1）。
设定针脚模拟值 # 输出端针脚号 设定“0~255”模拟数值	analogWrite()	设定输出端的模拟数值（0 ~ 255），其中本书中的输出端针脚号有 3、5、6、9、10、11。
伺服 针脚# 舵机针脚号 角度 舵机“10~170”角度	servo.attach() servo.write()	设定舵机的针脚号和角度（10° ~ 170°）。
延迟 毫秒 1000	delay()	延迟时间函数，单位是毫秒。
串口打印加回车 输入端针脚号	Serial.print() Serial.println()	完成串口和上位机的通信，通过串口显示输入端口数值并换行。

在图形化的体系中，用户不用在意控制板的芯片、寄存器、指令集等硬件底层，因为用户在各类学习中可能会接触到许多不同的控制板，每一种都去仔细学一遍的话，知识量太大，而且某些芯片可能会被淘汰，或者今后根本用不上。同时，本课程的教学目的是设计制作机器人，并利用单片机控制器驱动机器人完成设定任务，而不是深入学习某一种单片机或嵌入式，因此，只要掌握功能图块和函数的使用方法，把更多的精力投入到怎样设计制作并控制机器人就可以了。

第三节 机器人编程实践

从本节开始，我们将通过一系列实例，练习单片机的编程。

一、机器人的DIO接口模块应用

DIO 接口模块即数字量输入输出接口模块，我们用 LED 灯对 DIO 接口模块做一个简单地应用。

任务要求：点亮机器人上的 LED 灯（图 3-2 中的数字口 13），使其循环执行 LED 灯亮 1 秒钟，灭 1 秒钟，形成 LED 灯闪烁。

将控制板接上电池，打开电源，用 USB 数据线连上电脑后，打开 Arduino 1.5.2 → Tools → ArduBlock。参照机器人的 DIO 接口模块应用的程序图块（图 3-18），编写图形化程序。选好板型和 COM 口，将程序下载到控制板中，观察 LED 灯的变化。

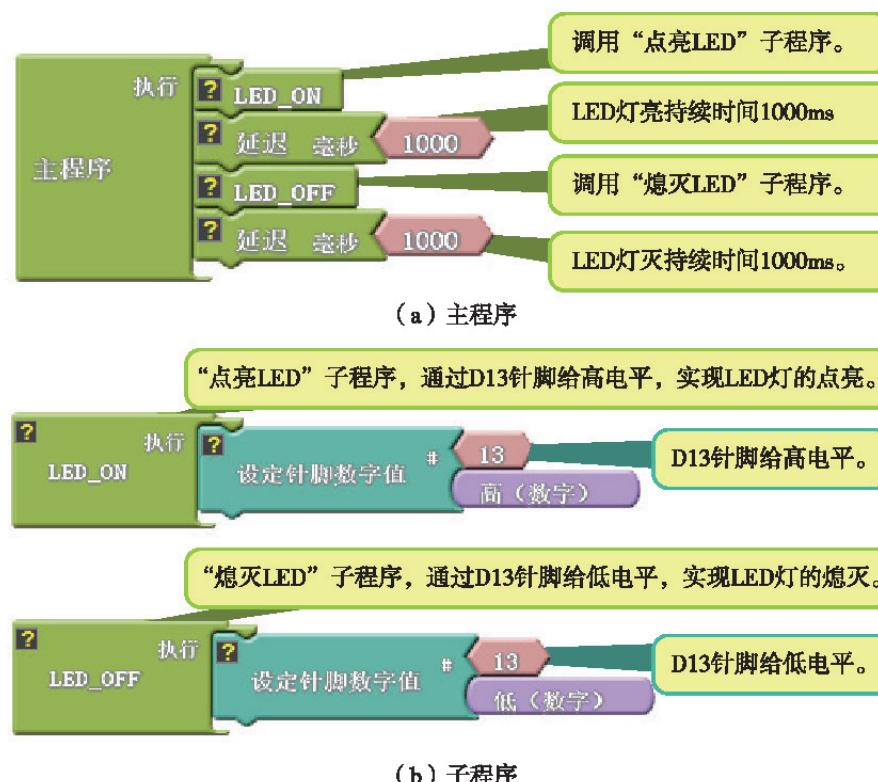


图3-18 机器人的DIO接口模块应用的程序图块

技术探究

尝试改变延迟函数的参数，观察 LED 灯的闪烁有什么变化。



我们在编程时，可以直接写 C 语言，也可以用图形化，还可以用图形化生成大致的 C 语言框架后，修改 C 语言代码。不管用哪种方式，最终目的都是为了达到想要的效果。

二、机器人的前进、后退

(一) 机器人的组装

在进行编程任务之前，我们首先要对机器人进行组装。本书中机器人组装所需要的配件如表 3-2 所示。

表3-2 机器人组装配件清单

名称	小车底板	10mm 滑轨	2×10 孔平板	小车顶板	铜质六角联轴器
数量	2	1	5	4	2
名称	1:10 模型轮胎	大直流电机支架	6V 大直流电机	大万向轮	M3×6 螺钉
数量	2	2	2	2	76
名称	M3×8 螺钉	φ3×20 内螺纹螺柱	φ3×30 内螺纹螺柱	螺母	
数量	18	16	12	26	

机器人车体的具体组装步骤如表 3-3 所示。

表3-3 机器人车体的组装步骤

第一步：用 8 个 M3×8 螺钉和 8 个螺母将 1 个 2×10 孔平板与 2 个小车底板装配在一起。	第二步：用 12 个 M3×6 螺钉固定 12 个 φ3×30 内螺纹螺柱。
第三步：用 8 个 M3×8 螺钉和 8 个螺母将 2 个大直流电机支架装配至小车底板上。	第四步：用 12 个 M3×6 螺钉将 2 个 6V 大直流电机装配至 2 个大直流电机支架上。

续表

第五步：铜质六角联轴器侧面自带 1 个 M3×6 螺钉，利用它将直流电机与联轴器固定。	第六步：铜质六角联轴器顶部也自带 1 个 M4×6 螺钉，利用它将 1:10 模型轮胎与联轴器固定。
第七步：用 12 个 M3×6 螺钉将 4 个 2×10 孔平板分别固定在 $\phi 3 \times 30$ 内螺纹螺柱上方。	第八步：用 8 个 M3×6 螺钉和 8 个螺母将 2 个大万向轮分别固定在 4 个 2×10 孔平板上。
第九步：用 16 个 M3×6 螺钉将 16 个 $\phi 3 \times 20$ 内螺纹螺柱固定在小车底板上。	第十步：用 16 个 M3×6 螺钉将 4 个小车顶板固定在 $\phi 3 \times 20$ 内螺纹螺柱上。
第十一步：用 2 个 M3×8 螺钉和 2 个螺母将 1 个 10mm 滑轨固定在小车顶板上，完成组装。	

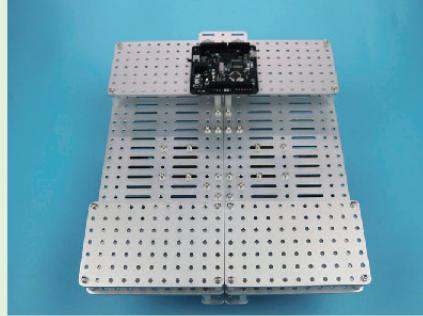
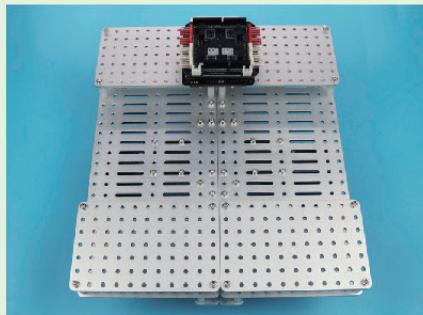
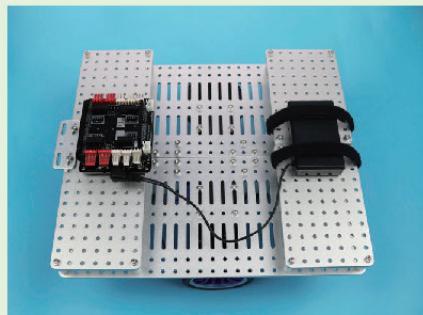
机器人车体安装好以后，我们还需要将控制电路和锂电池安装在机器人车体上，所需的组装配件如表 3-4 所示。

表3-4 控制电路和锂电池组装配件清单

名称	机器人车体	控制板	扩展板	锂电池
数量	1	1	1	1
名称	魔术绑带	垫片 10	M3×16 螺钉	螺母
数量	2	2	2	2

控制电路和锂电池的具体组装步骤如表 3-5 所示。

表3-5 控制电路和锂电池的组装步骤

第一步：找到 2 个 M3×16 螺钉、2 个垫片 10、1 个控制板，按图所示放置。	第二步：用 2 个螺母和上一步准备好的零件将控制板安装到如图所示的位置；注意控制板的方向。
	
第三步：找到 1 个扩展板，插接到控制板上。	第四步：找到 2 根魔术绑带、1 个锂电池，按图所示安装，可以将锂电池的接头插接到控制板上。
	

(二) 机器人控制

机器人运转需要由两个直流电机（图 3-19）控制。若想要机器人前进或后退，则需要两个直流电机的转动方向保持一致（图 3-20）。



图3-19 6V大直流电机

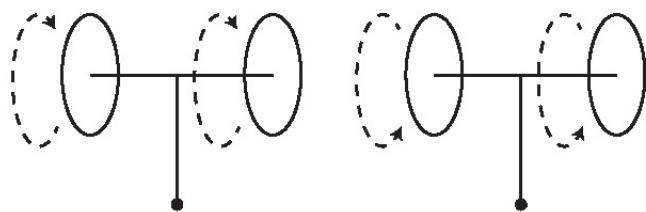


图3-20 机器人前进、后退原理图

问题思考

如果要实现机器人的前进或后退，除了需要使两个直流电机的转动方向保持一致以外，还需要满足什么条件？



我们已经组装好了机器人车体、控制器和锂电池，在第二个编程实践中，我们需要用控制器驱动直流电机，因此我们还需要将直流电机与控制器连接起来。直流电机的线应该插接到如图 3-21 所示的位置，注意左边直流电机对应左边的 D6、D10 针脚，右边直流电机对应右边的 D9、D5 针脚。

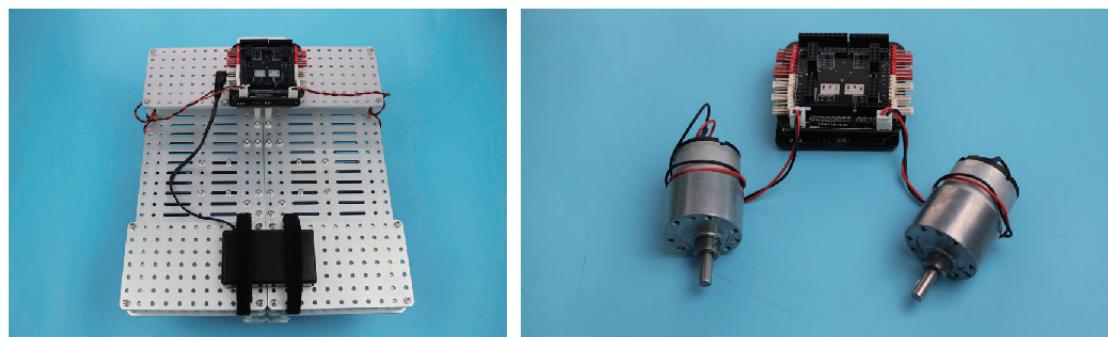


图3-21 直流电机与控制器连接图

(1) 任务要求：打开电源开关，直流电机正转，机器人前进。

由于直流电机有两个针脚，所以要写出两个图块（程序简单的话，只写一个即可）。扩展板的直流电机接口分别接控制板的 D9、D5 针脚或 D6、D10 针脚，同时根据程序的不同，我们可以设置不同的直流电机转速。这个参数的范围是 0 ~ 255，其中，有效范围是 30 ~ 200，30 相当于“最低”，200 相当于“最高”。

参照机器人前进控制程序图块（图 3-22），编写图形化程序。选好板型和 COM 口，将程序下载到控制板中，打开电源开关，实现直流电机正转，机器人前进。

左侧电机口上的两个针脚为 D6 和 D10。将其中一个针脚设为 30 ~ 200 的某个值（此处为 80），另一个针脚设为 0 值，即可转动。右侧电机口上的两个针脚为 D5 和 D9。将其中一个针脚设为 30 ~ 200 的某个值（此处为 80），另一个针脚设为 0 值，即可转动。两侧电机同时转动，小车前进。



图3-22 机器人前进控制程序图块

(2) 任务要求：打开电源开关，直流电机倒转，机器人后退。

技术实践

如果机器人在图 3-22 所示的程序控制下可以实现前进，请你参考机器人前进控制程序图块，自行编写图形化程序，实现直流电机倒转，机器人后退。



小结与评价

一、小结

本章着重介绍了单片机控制系统的构成，并通过对控制电路、控制器外围电路、控制程序的介绍及编程实践，实现了简单的控制操作。

根据下列题目所提供的线索，对本章的学习内容进行小结。

- (1) 常见的机器人控制器主要有哪些？
- (2) 单片机最小系统的基本构成包括什么？

二、评价

请结合本章学习的内容，熟练掌握简单的控制程序，小组讨论在机器人的组装和编程实践过程中的表现及遇到的问题，并进行评价。

自我评价：。

同学评价：。

老师评价：。

第四章 机器人的感知系统

现代信息产业的三大支柱是传感器技术、通信技术和计算机技术，它们分别构成了信息系统的“感官”“神经”和“大脑”。作为信息产业支柱之一的传感器技术是当前许多国家竞相发展的高科技，也是 21 世纪优先发展的顶尖技术之一。

本章我们将主要学习常用传感器的有关知识，对传感器进行简单的调试与监测，将传感器应用于机器人并进行编程实践。

第一节 常用的机器人传感器

传感器是一种能把特定的被测信号（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成电信号输出的器件或装置。

随着新技术革命和信息时代的到来，在利用信息的过程中，首先要解决的就是如何获取准确可靠的信息，而利用传感器是获取自然领域中信息的主要途径和手段。

在现代化工业生产，尤其是自动化生产过程中，需要使用各种传感器来监测和控制生产过程中的各个参数，使设备以最佳状态工作，使产品达到最好的质量。可以说，没有众多优良的传感器，现代化生产也就失去了基础。

一、触碰类传感器

触碰类传感器是用于机器人模仿触觉功能的传感器。触觉是人与外界环境直接接触时的重要感觉功能。利用触碰类传感器，机器人就可以感受物体的接触，当物体触动机器人上的触碰类传感器后，机器人便会做出反应。

常见的触碰类传感器可以利用微动开关（图4-1）、行程开关、接近开关、限位开关等元器件制作，通过被触动后接通电路进行感知。

二、光感类传感器

光感类传感器是对光强度产生应变的传感器，是目前产量最高、应用最广泛的传感器之一，在自动控制和非电量电测技术中占有非常重要的地位。

光敏传感器是利用光敏元件将光信号转换为电信号的光感类传感器。它的种类繁多，主要有光敏三极管、光敏电阻（图4-2）、光电管、太阳能电池、紫外线传感器、光纤式光电传感器、色彩传感器等。

反射式光感传感器（图4-3）是把发射器和接收器装入同一个装置内，在其前方装一块反光板，利用反射原理完成光电控制作用的光感类传感器。反射式光感传感器被广泛应用于点钞机、计数器、电机测速、打印机、

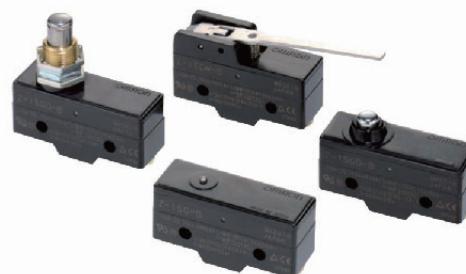


图4-1 几种常见的微动开关



图4-2 光敏电阻

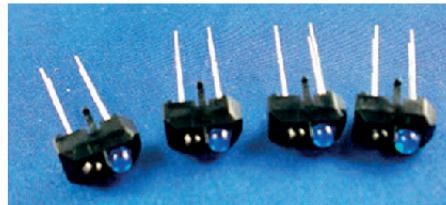


图4-3 反射式光感传感器

液位开关、舞台灯光控制、监控云台控制、运动方向判别、电动绕线机计数和电能表转数计量等。

三、声感类传感器

顾名思义，声感类传感器就是将外界的声音信号转换为电信号的传感器。我们所熟知的声感类传感器有声控、声呐、超声波和语音识别等。图 4-4 所示是常见的声感类传感器。

声控传感器既是一个数字量传感器，也是一个模拟量传感器。声控就是当传感器检测到有声音发出，并且达到所设定的阈值时，会向控制器输入一个触发状态的低电平，反之则会向控制器持续输入一个高电平。

超声波传感器（图 4-5）是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波，具有频率高、波长短、绕射现象小，特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。超声波对液体、固体的穿透本领很大，尤其是在不透明的固体中，可穿透几十米的深度。超声波碰到杂质或分界面会反射回超声波，碰到活动物体能产生多普勒效应。因此，超声波检测被广泛应用在工业（金属的无损探伤和超声波测厚）、国防、生物医学（疾病诊断）等方面。



图 4-4 常见的声感类传感器



图 4-5 超声波传感器

讨论交流

- (1) 在日常生活中，你还见过哪些电子产品使用了传感器？请举例说明。
- (2) 查阅相关技术资料，列举出其他类型的传感器，了解其特点及作用等。



四、机器人的高级感知

除了上述传感器外，还有许多具备其他感知能力的传感器，如霍尔传感器可以感应磁场，陀螺仪传感器可以感应倾角，气体传感器可以感应气体和烟雾浓度，红外热释电传感器可以感应人体等。

随着科技的进步，有些检测模块被研制出来应用于特殊工作环境，如宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、健康管理、生物工程及文物保护等。

激光雷达（图 4-6）是以发射激光束探测目标的位置、速度等为特征的雷达系统。向目标发射探测信号（激光束），然后将接收到的从目标反射回来的信号（目标回波）与发射信号进行比较，经过适当处理后，就可获得目标的有关信息，如目标的距离、方位、高度、速度、姿态甚至形状等参数，从而对飞机、导弹等目标进行探测、跟踪和识别。激光雷达

具有分辨率高、隐蔽性好、抗有源干扰能力强、低空探测性能好、体积小和质量轻等特点，因此被广泛应用于直升机避障、化学战剂探测、海洋水下探物等方面。



图4-6 激光雷达传感器

机器视觉是人工智能正在快速发展的一个分支，是用机器代替人眼来进行测量和判断。机器视觉系统（图4-7）通过图像采集装置，将被采集目标转换成图像信号，传送给专用的图像处理系统，从而得到被采集目标的形态、亮度、颜色等信息。



图4-7 常见的机器视觉系统

第二节 传感器在机器人中的典型应用

讨论交流

现实生活中的哪些机器人具有开关功能？请举例说明。



一、开关功能

起到开关功能的传感器在生活中随处可见。自动开关门（图4-8）就是开关功能的典型应用，它是将人接近门的动作或将某种入门授权识别为开门信号，通过驱动系统将门开启，在人离开后再将门自动关闭，并对开启和关闭的过程实现控制的系统。学校楼道里的声控灯，采集周围环境的声音，即可方便及时地打开声控照明装置，还具有为避免误触发而设置的自动延时关闭功能，并设有手动开关，使其应用更加方便。此外，还有红外报警器，当有物体触犯到看不见的红外线时，探头就会检测到异常，从而触发开关，然后报警。



图4-8 自动开关门

阅读材料**迎宾机器人**

自主迎宾：将机器人放置在会场、宾馆、商场等活动现场及促销现场，当宾客经过时，机器人会主动打招呼：“您好！欢迎光临。”当宾客离开时，机器人会说：“欢迎下次光临。”海宝机器人（图 4-9）是专门为 2010 年上海世博会设计制作的高科技机器人，具有信息咨询、迎宾服务、交谈互动、为游客提供拍摄服务和才艺展示等功能。海宝是 2010 年上海世博会吉祥物，以汉字中的“人”字为核心创意，配以代表生命和活力的海蓝色，可爱造型让人耳目一新。海宝机器人的欢笑，展示着积极乐观、健康向上的精神面貌；它挺胸抬头的动作和双手的配合，显示着包容和热情；它翘起的大拇指，是对来自世界各地的朋友发出的真诚邀请。



图4-9 海宝机器人

**二、沿轨迹行走的功能**

沿轨迹行走功能是被广泛应用的机器人导航功能，常见于工业 AGV 小车（图 4-10）。AGV 小车上装备了光感应或磁感应传感器，可以保障系统在不需要人工引航的情况下，能够沿预定的路线自动行驶，自动将货物等从起始点运送到目的地。轨迹可以由黑色、白色的胶带或油漆制作而成，也可以由带有磁性的条带铺设而成。

餐厅送餐机器人（图 4-11），在保证运行安全的同时，通过定位系统实现精准服务，具有自动送餐、自主充电、自主导航、避障等实用功能。它们在餐厅中的行动，往往需要用轨迹作为引导，以保证其行进路线的准确。



图4-10 工业中的AGV小车



图4-11 送餐机器人

三、行走中避障的功能

避障是指移动机器人在行走过程中通过传感器感知到妨碍其通行的静态和动态物体时，按照一定的方法进行有效避让，最后到达目标点。实现避障与导航的必要条件是环境

感知。在未知或者部分未知的环境下，避障需要通过传感器获取周围环境信息，包括障碍物的尺寸、形状和位置等。

扫地机器人（图 4-12）通过周身安装的碰撞传感器等多类传感器，高度模拟人的判断方式，可以贴合障碍环绕轻扫，防止蛮横碰撞损坏家具，智能判断窗帘等可通过障碍物，使清扫不留死角。

随着社会的发展和科学技术的进步，无人驾驶汽车也得到了快速发展。无人驾驶汽车（图 4-13）需要依靠各种各样的传感器来实现复杂环境的感知，从而有效躲避其他车辆、障碍物，避免发生交通事故。



图4-12 扫地机器人



图4-13 无人驾驶汽车

四、状态反馈功能

许多机器在工作时需要随时监测自身的工作状态。例如，电动平衡车（图 4-14）在工作时需要随时知道自身的倾斜程度，从而控制电机运动和保持平衡。其运作原理主要是建立在一种被称为“动态稳定”的基本原理上。电动平衡车利用车体内部的陀螺仪和加速度传感器，检测车体姿态的变化，并利用伺服控制系统，精确地驱动电机进行相应调整，以保持系统的平衡。类似于人体自身的平衡系统，当身体重心前倾时，为了保证平衡，需要往前走，重心后倾时同理。

火星探测机器人（图 4-15）是人类发射到火星表面，并在火星表面行驶和进行考察的机器人。火星探测机器人具有自动检测自身各项指标的功能，从而保证其正常运作。例如，当火星探测机器人的电压低于某个值时，电压监测功能就会发挥作用，太阳能板会自动打开，为火星探测机器人充电。



图4-14 电动平衡车



图4-15 火星探测机器人

技术探究

当前，市面上的某些电动玩具，如电动玩具汽车等，也具备在行走中自动避障的功能。如果你来设计一款避障玩具汽车，你会使用哪种类型的传感器？如何来实现其自动避障的功能？



第三节 传感器的调试与监测

传感器的主要功能是将检测到的外界环境变化信号转变成电信号，然后通过输入接口将电信号传输给控制器，控制器会根据设定的程序对信号进行分析处理。所以我们在学习传感器的使用时，需要解决以下三个问题：

- (1) 传感器的触发条件（触感、光感、声感等）是什么？
- (2) 传感器如何与控制器进行电路连接？
- (3) 如何通过控制器获取传感器的信号？

通过前面的学习，相信大家已经对问题（1）有所了解。在本节中，将通过简单的实践活动带领大家去了解问题（2）和问题（3）。

一、搭建传感器电路

本节将以光感类的近红外传感器、灰度传感器和声感类的超声波传感器为例进行详细讲解。由于在第三章中已经完成了对控制板与外围电路扩展板的连接，因此在这里主要讲解传感器与控制器的连接。

(一) 近红外传感器

近红外传感器与控制器连接时所需要的器材如表 4-1 所示。

表4-1 近红外传感器与控制器连接时所需要的器材

图样				
名称	近红外传感器	控制板	外围电路扩展板	传感器连接线
数量	1	1	1	1

连接：通过传感器连接线将近红外传感器连接到控制器上，如图 4-16 所示。

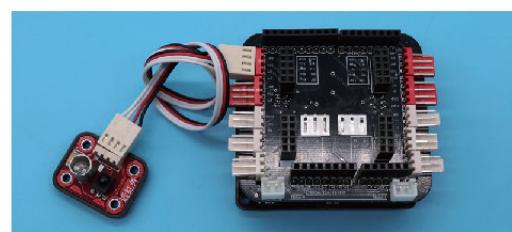
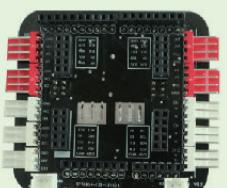


图4-16 近红外传感器连接控制器

(二) 灰度传感器

灰度传感器与控制器连接时所需要的器材如表 4-2 所示。

表4-2 灰度传感器与控制器连接时所需要的器材

图样				
名称	灰度传感器	控制板	外围电路扩展板	传感器连接线
数量	1	1	1	1

连接：通过传感器连接线将灰度传感器连接到控制器上，如图 4-17 所示。

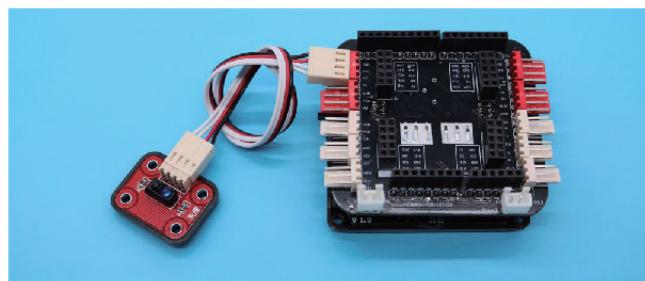


图4-17 灰度传感器连接控制器

问题思考

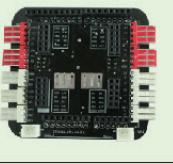
如果在将近红外传感器和灰度传感器连接到控制器上时，把排线连接到控制器的其他红色接口，会有什么不同的效果？



(三) 超声波传感器

超声波传感器与控制器连接时所需要的器材如表 4-3 所示。

表4-3 超声波传感器与控制器连接时所需要的器材

图样				
名称	超声波传感器	控制板	外围电路扩展板	传感器连接线
数量	1	1	1	1

连接：通过传感器连接线将超声波传感器连接到控制器上，如图 4-18 所示。注意：

超声波传感器不能连接到外围电路扩展板的传感器接口 2 和传感器接口 3 上。

将以上三种传感器与控制器连接后，再通过 USB 将控制器与电脑连接（图 4-19），即可进行传感器的调试与监测。

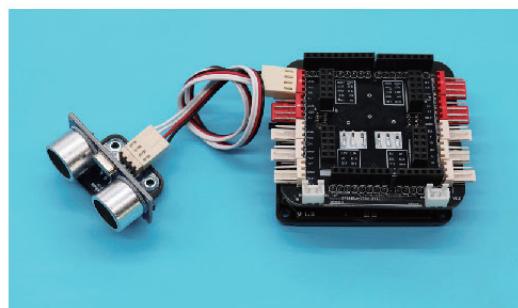


图4-18 超声波传感器连接控制器

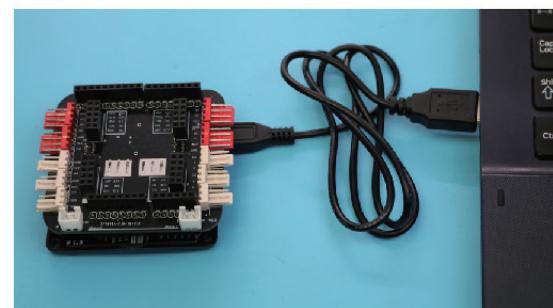


图4-19 控制器与电脑通过USB连接

二、通过串口监测传感器信息

想要获取传感器的信号，我们需要先编写一段程序，然后将程序烧录到已经连接好的电路控制器中，并调用上位机（编写程序的电脑）编程软件中的串口监视器（检测单片机信号反馈的一个界面），这样我们就可以在串口监视器中观测到传感器在不同触发条件下的信号反馈。

首先，我们来了解一下本节编程时需要用到的图块及说明，如表 4-4 所示。

表4-4 编程所需图块及说明

图块	说明
主程序	程序中只允许有一个主程序，主程序能调用子程序，但不能被子程序调用。
数字针脚 # 输入端针脚号	读取数字针脚值（取值为 0 或 1）。
模拟针脚 # 输入端针脚号	读取模拟针脚值（取值在 0 ~ 1023 之间）。
延迟 毫秒 1000	延迟时间函数，单位为毫秒。
串口打印加回车 输入端针脚号	完成串口和上位机的通信，通过串口显示输入端口数值并换行。
和数字量结合 ()	读取数字量输入信号。
和模拟量结合	读取模拟量输入信号。

在第三章中，我们已经学习过传感器接口，知道本书所采用的控制器有 4 个传感器接口。在这里，我们再具体讲解一下图形化编程时针脚号的写法和使用，如表 4-5 所示。

表4-5 传感器接口针脚号的写法和使用

接口	接口 1		接口 2	接口 3	接口 4	
针脚	A0	A1	A2	A3	A4	A5
对应图形化写法数值	14	15	16	17	18	19
触碰传感器针脚使用						
近红外传感器针脚使用		14	16	17	18	
灰度传感器针脚使用						
超声波传感器针脚使用	14	15	不可用	不可用	18	19

(一) 近红外传感器测值(数字量)

近红外传感器是光感类的数字量传感器，在正常日光环境下，它可以检测 20cm 范围内是否有遮挡物出现。

1. 程序编写

(1) 近红外传感器测试程序图块如图 4-20 所示。



图4-20 近红外传感器测试程序图块

(2) 参考第三章内容完成程序烧录。

2. 调用串口监视器并进行监测

(1) 单击 ArduBlock 界面中的“Serial Monitor”(图 4-21)。



图4-21 Serial Monitor

(2) 调出串口监视器界面(图 4-22)。将近红外传感器检测头向上，用手在距离近红外传感器 10cm 高度的位置左右晃动，观察 COM 口监测界面(图 4-23)中的数值变化。在监测界面中，1 代表近红外传感器触发，0 代表近红外传感器不触发。

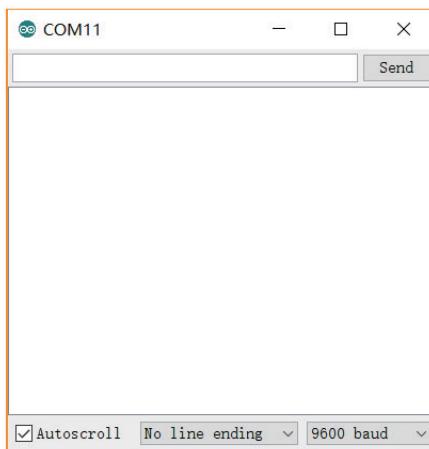


图4-22 串口监视器界面

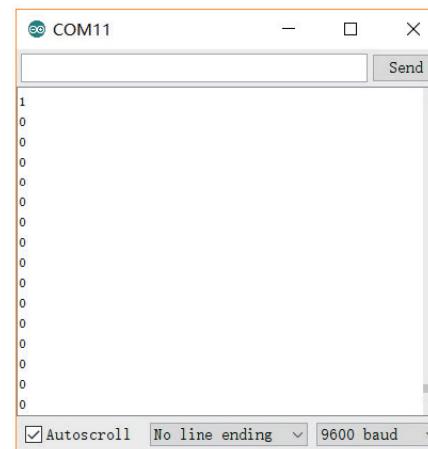


图4-23 COM口监测界面

技术探究

用尺子测量一下近红外传感器的触发距离，并尝试改变光线环境，看看触发距离是否发生变化。



(二) 灰度传感器测值(模拟量)

灰度传感器是光感类的模拟量传感器，用它可以检测介于黑色和白色之间的灰度值。

1. 程序编写

(1) 灰度传感器测试程序图块如图 4-24 所示。

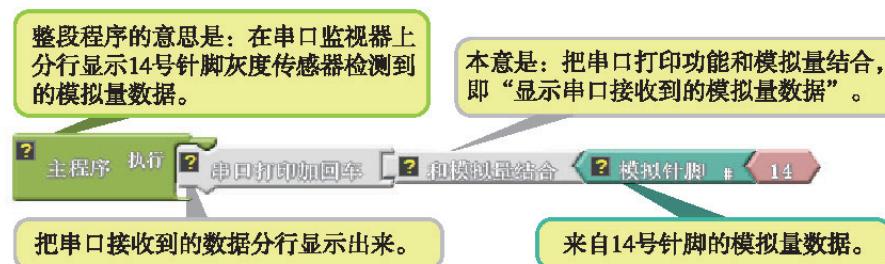


图4-24 灰度传感器测试程序图块

(2) 参考第三章内容完成程序烧录。

2. 调用串口监视器并进行监测

(1) 单击 ArduBlock 界面中的“Serial Monitor”(图 4-25)。

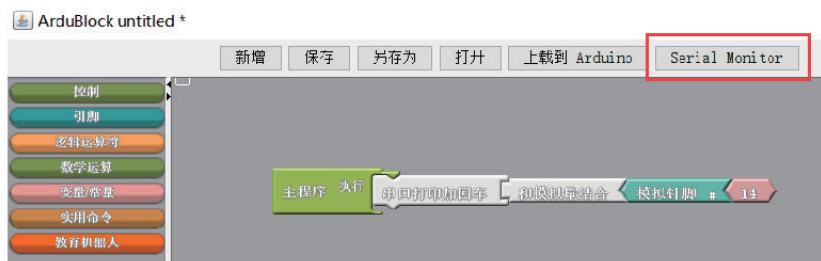


图4-25 Serial Monitor

(2) 调出串口监视器界面(图 4-26)。将灰度传感器的检测头在黑色、灰色、白色之

间来回移动，观察 COM 口监测界面（图 4-27）中的数值变化。监测界面中显示数值的范围为 0 ~ 1023。

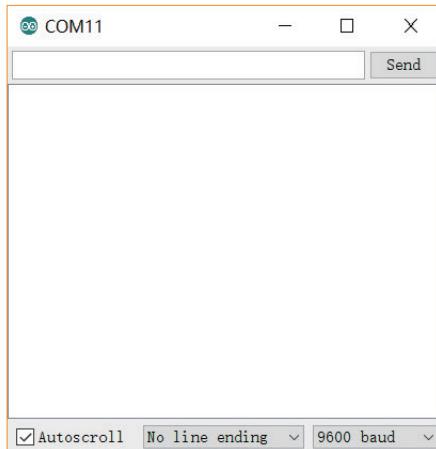


图4-26 串口监视器界面

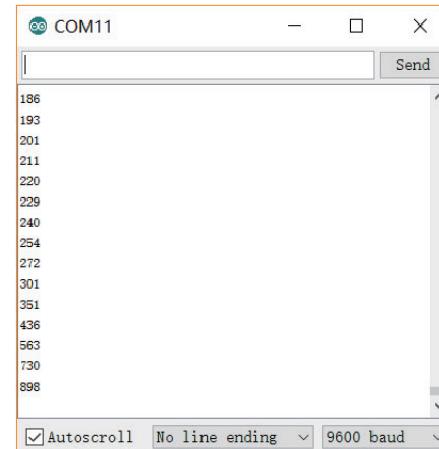


图4-27 COM口监测界面

技术探究

根据监测到的数值，判断被检测物体的颜色和数值之间的关系。



(三) 超声波传感器测值（模拟量）

近红外传感器、灰度传感器等的信号比较简单，只需要一个针脚即可实现信号监测，但有的传感器则需要两个针脚实现信号监测，如超声波传感器。

超声波传感器有两个数据针脚，可以用超声波传感器专用的接口来完成监测。它可以检测前方 2 ~ 300cm 范围内是否有遮挡物出现，并可以准确地检测在探测范围内遮挡物到传感器的距离。

1. 程序编写

(1) 超声波传感器测试程序图块如图 4-28 所示。

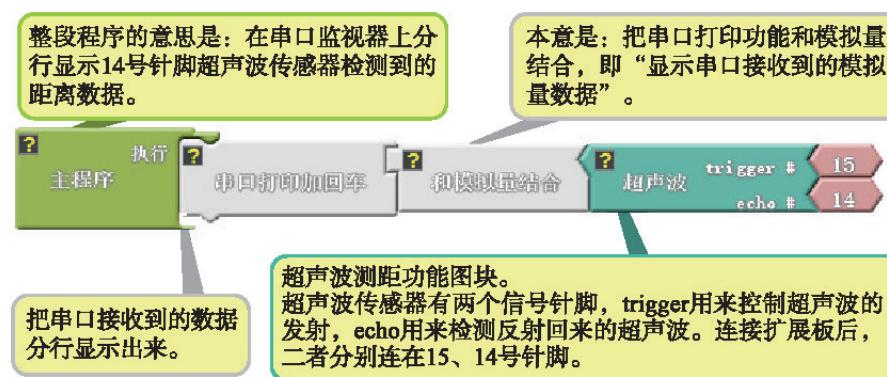


图4-28 超声波传感器测试程序图块

(2) 参考第三章内容完成程序烧录。

2. 调用串口监视器并进行监测

(1) 单击 ArduBlock 界面中的“Serial Monitor”（图 4-29）。



图4-29 Serial Monitor

(2) 调出串口监视器界面(图4-30)。将超声波传感器的检测头向上,用手在检测头上方上下移动,观察COM口监测界面(图4-31)中的数值变化。监测界面中可以直接显示超声波传感器与障碍物之间的距离,单位为cm。

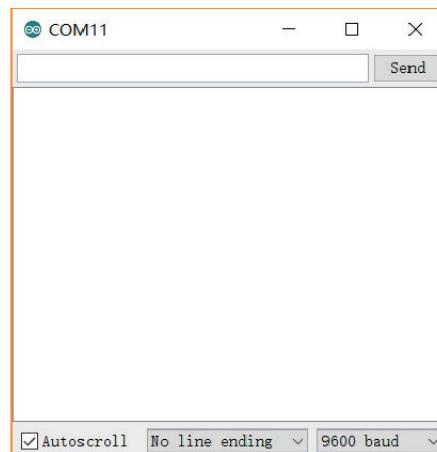


图4-30 串口监视器界面

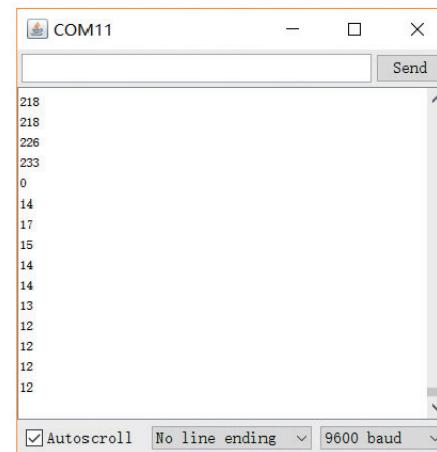


图4-31 COM口监测界面

技术实践

用超声波传感器测量一下课桌的宽度。



第四节 机器人传感器的功能实现

在本节中,我们将通过两个实例进一步了解传感器在机器人上的实际应用和功能实现。

一、机器人的障碍物探测

任务要求:打开电源开关,机器人前进;当机器人遇到障碍时,通过近红外传感器控制其停止。

由于我们在第三章中已经将机器人组装完成(图4-32),因此,在这里我们只需要在机器人车身前端安装近红外传感器,并注意使传感器的检测头朝向前方。

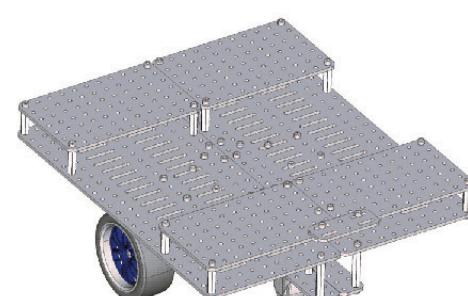


图4-32 机器人结构图

安装近红外传感器所需要的配件如表 4-6 所示。

表4-6 安装近红外传感器所需要的配件

名称	机器人车体	近红外传感器	传感器连接线	M3×8 螺钉
数量	1	1	1	2
名称	M3×10 螺钉	螺母	3×5 双折面板	
数量	2	4	1	

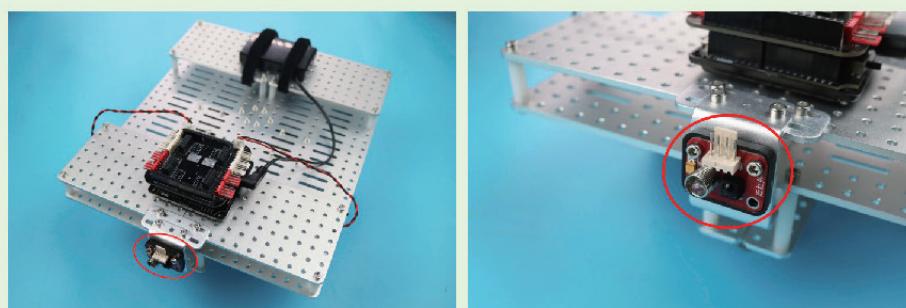
安装近红外传感器的具体步骤如表 4-7 所示。

表4-7 安装近红外传感器的具体步骤

第一步：找到 1 个 3×5 双折面板、2 个 M3×10 螺钉、2 个螺母、1 个近红外传感器，按图所示进行安装。



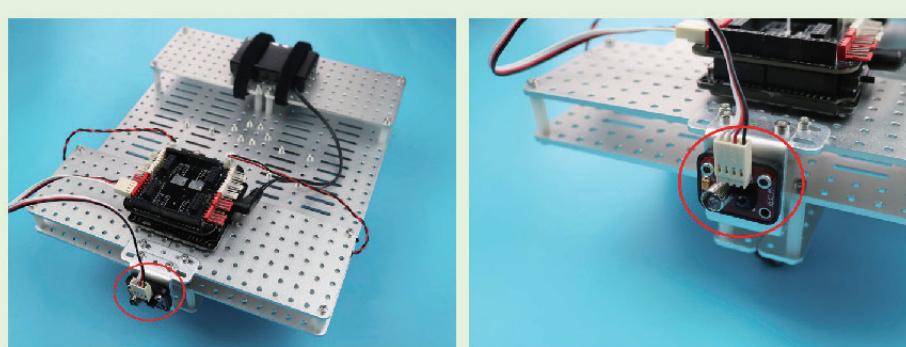
第二步：用 2 个 M3×8 螺钉和 2 个螺母将近红外传感器转接座安装在机器人车体上。



整体图

局部图

第三步：用 1 根传感器连接线将近红外传感器连接在扩展板的传感器接口 A4 上。



整体图

局部图

参照机器人的障碍物探测程序图块(图4-33),编写图形化程序。选好板型和COM口,将程序下载到控制板中。

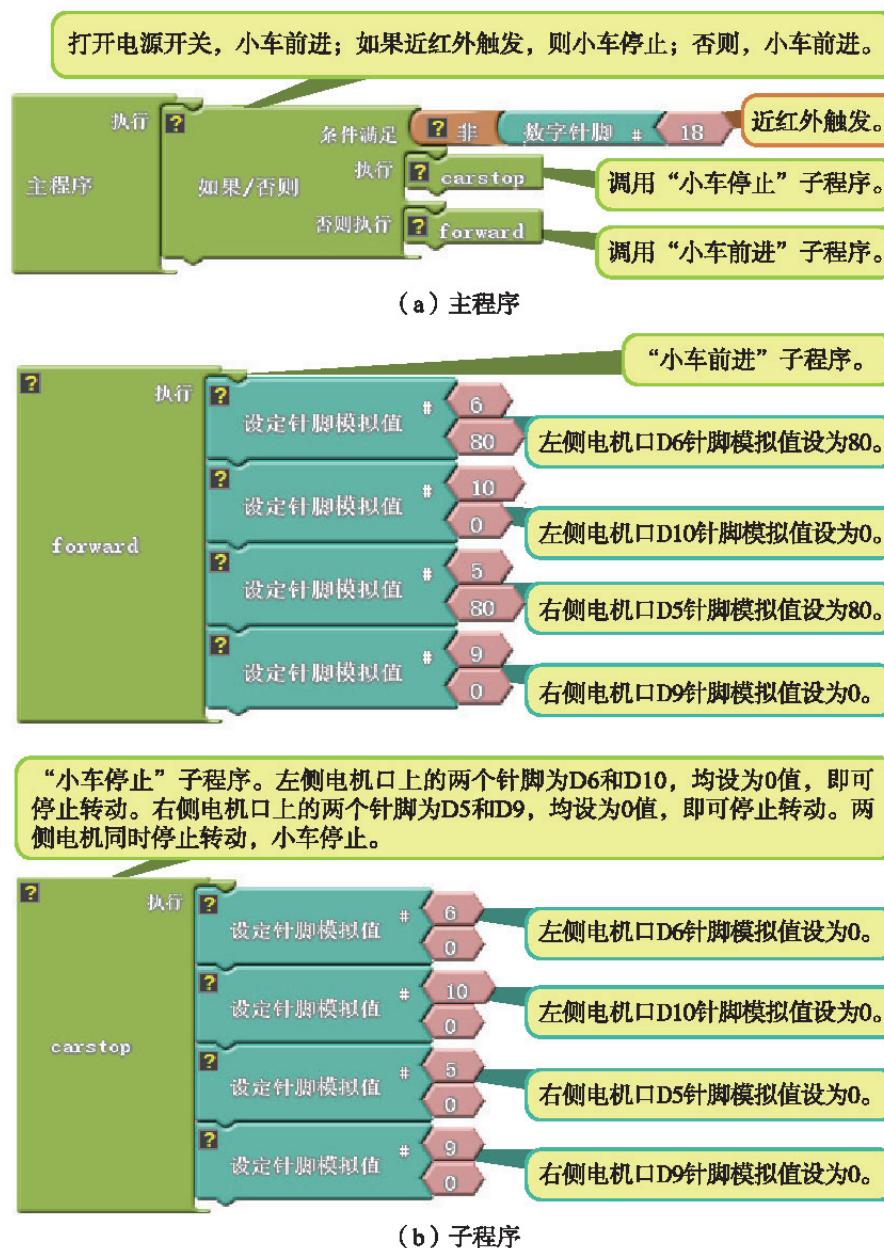


图4-33 机器人的障碍物探测程序图块

二、机器人的加速、减速

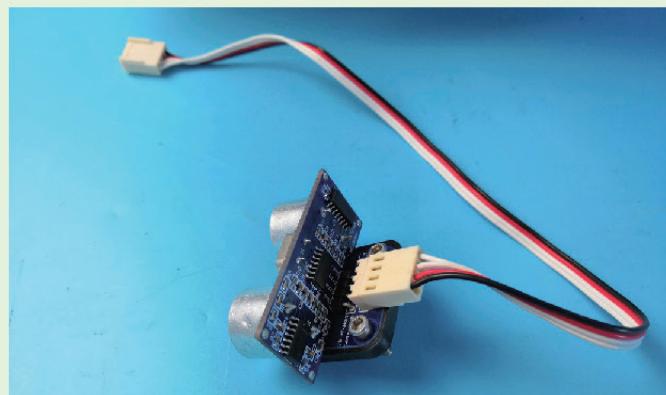
任务要求:将一本书放置在距离机器人超声波传感器60cm处,启动机器人。当超声波传感器与书的距离大于30cm时,机器人以80的速度前进;当超声波传感器与书的距离小于30cm时,机器人以50的速度前进;再次拉大书与超声波传感器之间的距离,使其大于30cm,观察机器人前进速度的变化。

由于我们在第三章中已经将机器人组装完成(图4-32),因此,在这里我们只需要在机器人车身前端安装超声波传感器,并注意使传感器的检测头朝向前方。

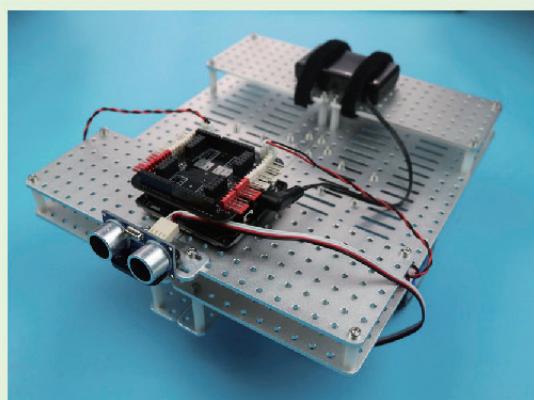
安装超声波传感器的具体步骤如表4-8所示。

表4-8 安装超声波传感器的具体步骤

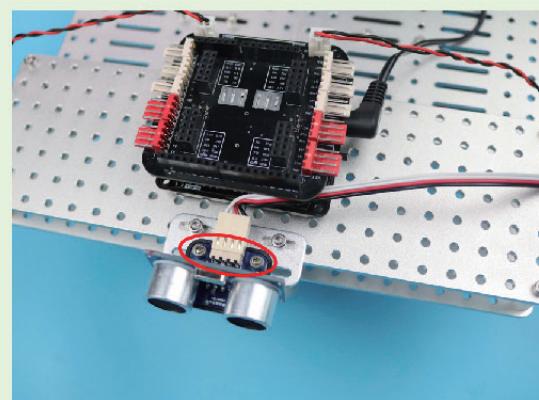
第一步：将1根传感器连接线接在超声波传感器上。



第二步：用2个M3×10螺钉和2个螺母将超声波传感器固定在机器人上。

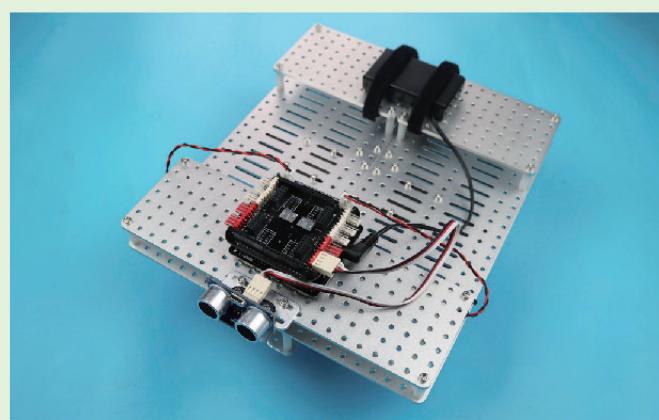


整体图



局部图

第三步：将超声波传感器连接线的另一端连接在扩展板的传感器接口A0上。



参照机器人的加速、减速程序图块（图4-34），编写图形化程序。选好板型和COM口，将程序下载到控制板中。



图4-34 机器人的加速、减速程序图块

小结与评价

一、小结

本章介绍了几种常用的机器人传感器，详细讲述了传感器在机器人中的典型应用，并通过具体案例，实现了简单的传感器控制。

根据下列题目所提供的线索，对本章的学习内容进行小结。

- (1) 常用的机器人传感器主要有哪些类别？这些传感器的特点和作用是什么？
- (2) 举例说明传感器在日常生活中的应用。

二、评价

请结合本章学习的内容，熟练掌握传感器在机器人上功能的实现。针对在案例实践过程中的表现和遇到的问题进行评价。

自我评价：。

同学评价：。

老师评价：。

第五章 机器人的控制策略

机器人的控制系统按对工作环境的适应程度可分为程序控制系统、适应性控制系统、人工智能控制系统。对于程序控制系统，可以采用结构化程序设计。设计的目的不仅是要从逻辑上正确地实现每个模块的功能，更重要的是使最终设计的处理过程尽可能简明易懂。

第一节 顺序结构编程

结构化程序设计中有3种基本的控制结构：顺序结构、分支结构和循环结构。常见的过程设计工具有程序流程图、过程设计语言、判定树、判定表等。对于机器人的运动控制来说，常采用程序流程图。常见的流程图符号如表5-1所示。

下面将结合机器人运动控制的实例，学习顺序结构、分支结构和循环结构的编程。其中，顺序结构是最简单的程序结构，也是最常用的程序结构，是所有程序结构的基础。

一、顺序结构的概念

顺序结构是指一个程序模块执行完毕后，按自然顺序执行下一个程序模块，是结构化程序中最简单的控制结构。编程语言并不提供专门的控制语句来表达顺序控制结构，而是用程序语句的自然排列顺序来表达。计算机按此顺序逐条执行语句，在一条语句执行完毕后，自动转到下一条语句（图5-1）。

符号	名称
○	起止框
→	流程线
◇	条件判断框
□	处理框

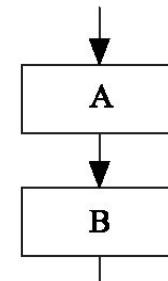


图5-1 顺序
结构流程图

二、机器人运动——顺序结构实现

问题思考

观察汽车前进、后退的过程，思考如何设计机器人的前进、后退过程。



机器人的前进、后退是一个顺序事件，可以采用顺序结构来进行设计，通过控制机器人前进、后退的速度及时间来模拟汽车前进、后退的过程。其流程图如图5-2所示。

下面我们将根据任务设计流程，完成机器人车体的硬件搭建与软件编程，实现机器人的运动。

第一步：根据第三章内容完成机器人车体的组装。

第二步：根据机器人运动的顺序结构流程图（图5-2），进行编程。

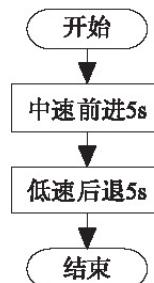
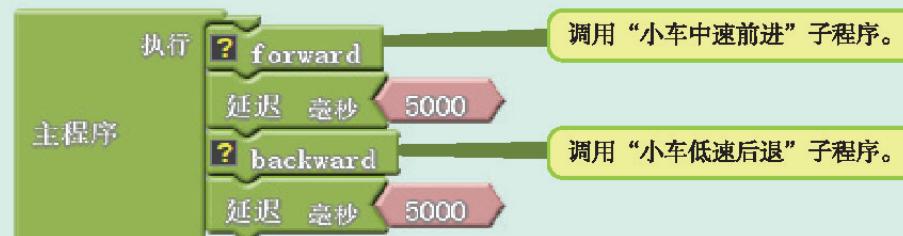


图5-2 机器人运动的顺序
结构流程图

技术实践

分小组进行讨论，分析图 5-3 中机器人前进、后退的程序并谈谈你的理解。



(a) 主程序

“小车中速前进”子程序。左侧电机所连针脚为D6和D10，将D6针脚设为30~200之间的某个值（此处为80），D10针脚设为0值。右侧电机所连针脚为D5和D9，将D5针脚设为30~200之间的某个值（此处为80），D9针脚设为0值。两个电机都向前转动，小车即向前行驶。



“小车低速后退”子程序。左侧电机所连针脚为D6和D10，将D6针脚设为0值，D10针脚设为30~200之间的某个值（此处为50）。右侧电机所连针脚为D5和D9，将D5针脚设为0值，D9针脚设为30~200之间的某个值（此处为50）。两个电机都向后倒转，小车即向后倒退。



(b) 子程序

图5-3 机器人前进、后退参考程序

提示：软件环境是 Arduino IDE，使用 ArduBlock 图形化编程。根据机器人实际运动情况，我们人为地将输出模拟值在范围 30~70 的定义为低速，70~120 为中速，120~200 为高速。



第二节 分支结构编程

顺序结构的程序虽然能解决计算、输出等问题，但不能先做判断再进行选择。对于要先做判断再进行选择的问题，就要使用分支结构。

一、分支结构的概念

分支结构又称为选择结构。计算机在执行程序时，一般按照语句的顺序执行，但在许多情况下，需要根据不同的条件来选择所要执行的模块，即判断某种条件，如果条件满足就执行某个模块，否则就执行另一个模块。分支结构包括单分支、双分支和多分支3种形式。单分支结构、双分支结构的流程图如图5-4和图5-5所示。单分支结构可以用if语句完成，而多分支结构可以用switch语句完成。

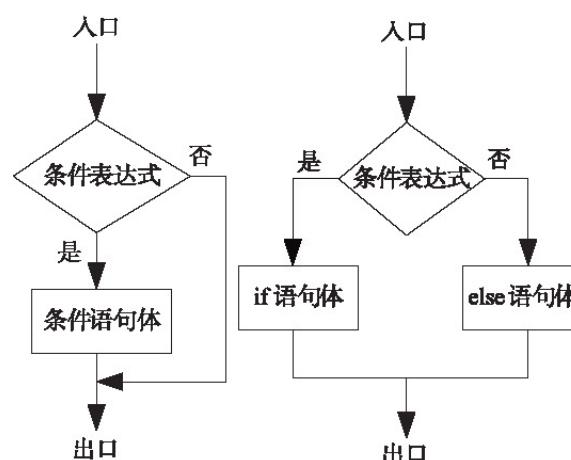


图5-4 单分支结构

图5-5 双分支结构

二、机器人避障——分支结构实现

问题思考

观察汽车躲避前方障碍物的过程，思考使用近红外传感器是否可以满足实现机器人避障功能的要求？



人们在开车时会用眼睛来判断前方有无障碍物。机器人也有它的“眼睛”——近红外传感器。近红外传感器可以发射和接收红外信号，在机器人前进的过程中，近红外传感器通过接收到的反射信号，可以判断出前方是否有障碍物，其有效检测范围在20cm以内。

根据图5-6所示的汽车避障场景进行设计。在机器人前方放置障碍物，当机器人检测到前方有障碍物时，机器人右转后再前进2s躲避障碍物，否则机器人继续直行，以此来模拟汽车避障的过程。其流程图如图5-7所示。

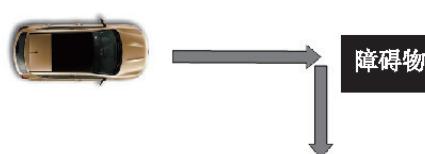


图5-6 汽车避障场景图

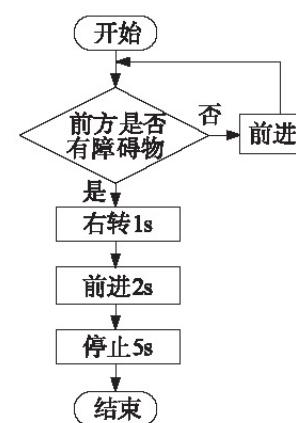


图5-7 机器人避障流程图

讨论交流

观察汽车的右转过程，开展“头脑风暴”式的讨论交流：如何设计和实现机器人的右转过程？



机器人的转弯可以通过两个轮子的差速运动实现，其原理如图 5-8 所示。

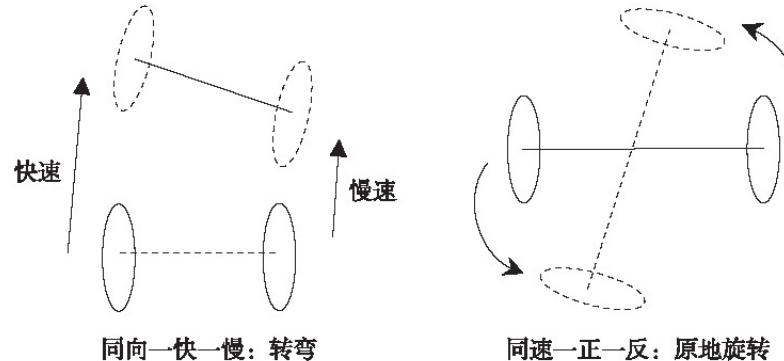


图5-8 差速运动图解

下面我们将根据设计结果，实现机器人的避障功能。

第一步：根据第三章内容完成机器人车体的组装。

第二步：选择合适的传感器（以近红外传感器为例），参照第四章内容，将近红外传感器安装在机器人车体上（图 5-9）。

第三步：根据机器人避障流程图（图 5-7）进行编程与调试。

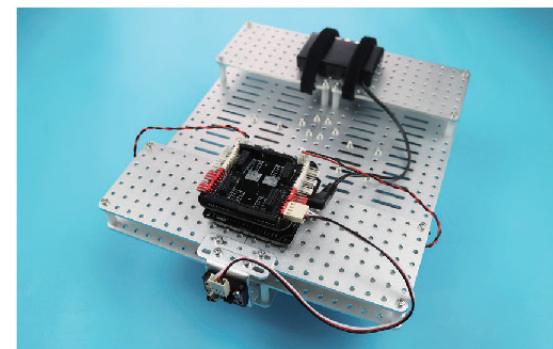


图5-9 避障机器人组裝完成图

技术实践

根据图 5-7 所示的程序流程图，编写程序代码。参考程序如图 5-10 所示。

如果 14 号针脚的近红外传感器触发（即检测到障碍物），则小车右转 1s，前进 2s，停止 5s，否则小车前进。





第三节 循环结构编程

当程序较为复杂时，顺序结构和分支结构虽然可以满足程序要求，但是程序量较大，程序单次执行的时间较长，这时就需要循环结构来帮忙。循环结构可以减少源程序重复书写的工作量，是程序设计中最能发挥计算机特长的程序结构。

一、循环结构的概念

循环结构可以实现有规律的重复计算。有规律的重复计算就是反复执行某些相同的处理过程，即重复执行某个模块，但是重复执行这些模块一般是有条件的，即检测某些条件，如果条件满足就重复执行相应模块。常见的循环结构有 for 循环、while 循环、do-while 循环，对应的流程图如图 5-11 所示。

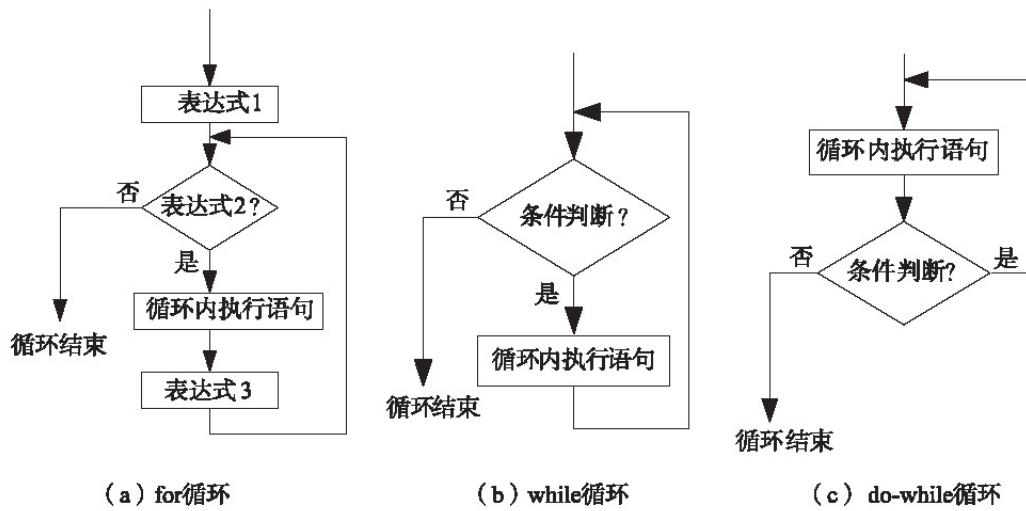


图 5-11 循环结构的流程图

for 循环的一般形式包括表达式 1、表达式 2、表达式 3。表达式 1 是一个赋值语句，用来给循环控制变量赋初值；表达式 2 是一个关系表达式，它决定什么时候退出循环；表达式 3 控制变量每循环一次后按什么方式变化。

阅读材料

以“执行 8 次 ‘statement’ 子程序”为例，其对应的 for 循环程序如图 5-12 所示。

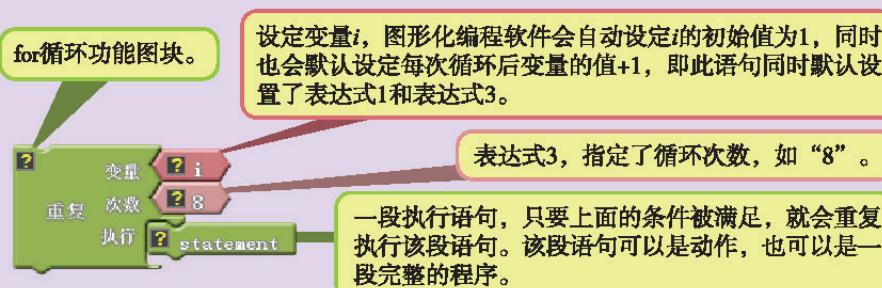


图 5-12 for 循环程序图

程序上电第 1 次运行时，定义变量 i 的初始值为 1，同时判断 i 是否小于等于 8。判断为真，则执行“statement”子程序。执行完“statement”子程序后，执行“ $i+1$ ”， i 的值变为 2，返回循环判断语句位置。

第 2 次运行时，变量 i 的值为 2，同时判断 i 是否小于等于 8。判断为真，则执行“statement”子程序。执行完子程序后，执行“ $i+1$ ”， i 的值变为 3，返回循环判断语句位置。



……第8次运行时，变量*i*的值为8，同时判断*i*是否小于等于8。判断为真，则执行“statement”子程序。执行完子程序后，执行“*i+1*”，*i*的值变为9，返回循环判断语句位置。

第9次运行时，变量*i*的值为9，同时判断*i*是否小于等于8。判断为假，退出循环。



while循环表示当条件为真时便执行循环程序中的语句，直到条件为假时才结束循环。以“循环条件为模拟变量小于等于100”为例，其对应的while循环程序如图5-13所示。程序上电判断“模拟变量”是否小于等于100。判断为真，则执行循环内“statement”子程序；判断为假，则退出循环。do-while循环与while循环相似，其不同之处在于do-while循环先执行循环中的语句，然后再判断条件是否为真。如果为真，则继续循环；如果为假，则结束循环。因此，do-while循环至少要执行一次循环语句。



图5-13 while循环程序图

二、机械爪抓取——循环结构实现

“一双小小手，十个手指头，扳手算算术，一三五七九。”这首儿歌让人体会到手指的灵活性及多用性。下面我们模仿人类手指的功能制作一个机械爪，并实现抓取物品的功能。

问题思考

观察和分析手指抓取物品的过程，思考制作机械爪需要哪些硬件及控制策略。



第一步：把舵机调整到中值位置。编写一个令舵机旋转到中值位置的程序，如图5-14所示。然后将舵机连接到主控板的D3舵机端口上，连接锂电池并打开电源，舵机即可被调整至中值位置。

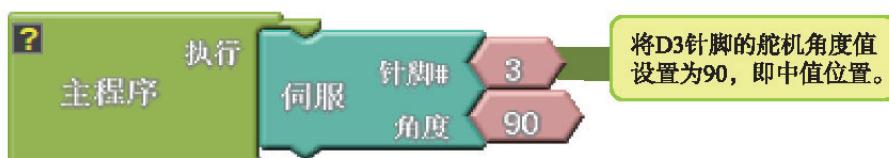


图5-14 舵机中值位置设置程序

第二步：参照第二章中机械爪的组装方法，完成机械爪的组装（图 5-15）。

第三步：将机械爪的舵机连接到主控板的 D3 舵机端口上（图 5-16）。

第四步：根据机械爪的抓取过程进行设计。机械爪默认为张开状态，然后利用舵机运动，带动连杆、齿轮装置完成机械爪的抓取过程，其流程图如图 5-17 所示。



图5-15 机械爪结构图

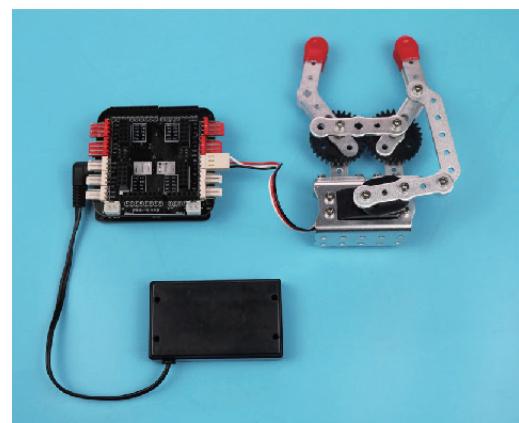


图5-16 机械爪与控制器的组装图

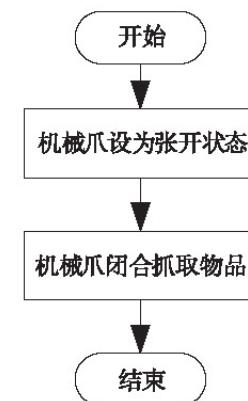


图5-17 机械爪抓取
物品的流程图

技术实践

利用图 5-18 所示的程序，通过输入角度值，对机械爪的张开幅度进行调试。

程序烧录后，保持 USB 线与电脑的连接，打开串口监视器，输入 60 ~ 120 角度值，并观察输入不同角度值时机械爪的状态变化。

当机械爪想要抓取一个物品时，首先需要张开到足够大的幅度，以容纳目标物品；等目标物品进入机械爪的运动范围后，再闭合到一定幅度，以紧紧抓取物品。所以，机械爪抓取物品时，舵机需要确定张开角度、闭合角度两个关键的角度值。物品的尺寸、质地等均会影响这两个角度值的大小。

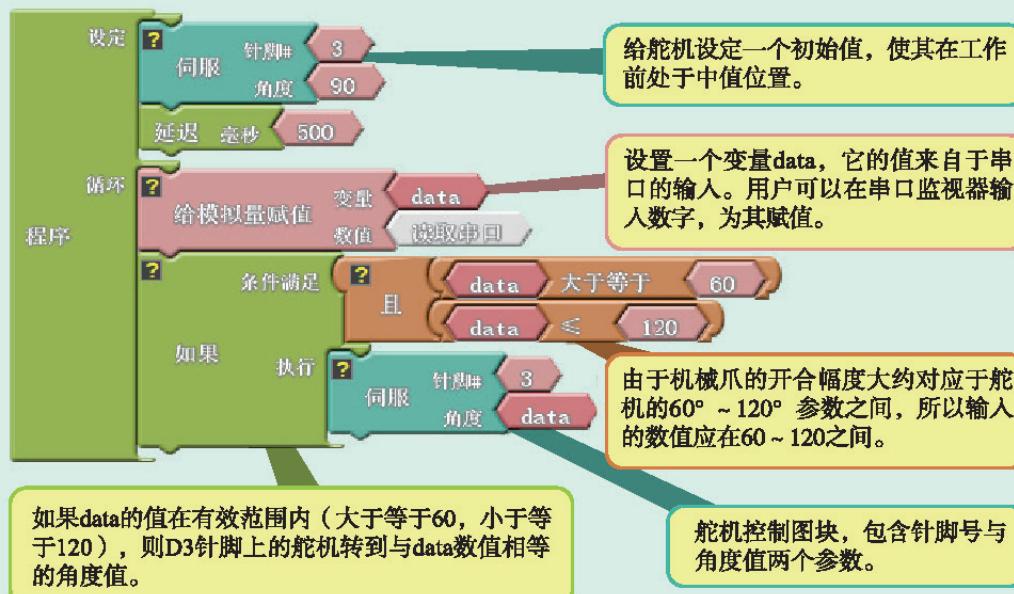


图5-18 机械爪张开幅度调试程序



技术探究

如果我们确定了舵机的两个角度值，那么如何用程序控制机械爪流畅地完成抓取物品的过程呢？

提示：利用循环结构的设计思路来进行程序控制。

以“舵机摆动角度为 110° 对应机械爪的张开幅度， 70° 对应机械爪的闭合幅度”为例，舵机角度从 110° 逐步减小到 70° ，可以利用循环结构来实现和完成。我们可以设置舵机角度每次减小 1° ，连续循环减小 40 次，这样就完成了机械爪抓取物品的过程。机械爪抓取物品的流程图如图 5-19 所示。

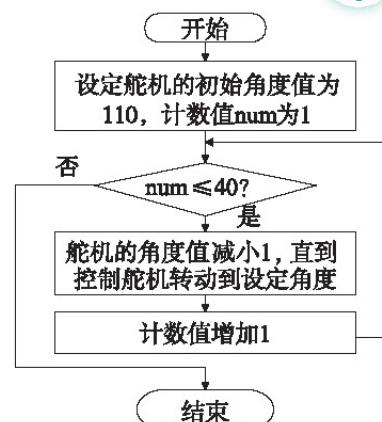


图5-19 机械爪抓取物品的流程图

技术实践

根据图 5-19 所示的流程图，编写程序代码。参考程序如图 5-20 所示。

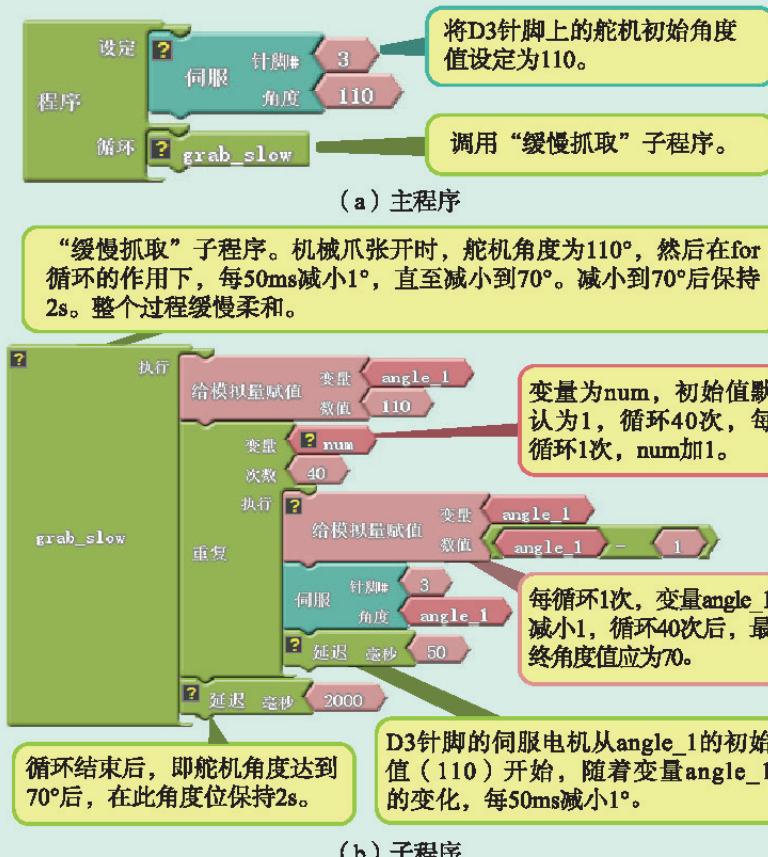


图5-20 机械爪抓取物品的参考程序

小结与评价

一、小结

机器人的控制策略主要用于解决运动控制机器人的路径规划问题。本章通过机器人的运动、避障及机械爪抓取物品的实例，理解顺序结构、分支结构、循环结构，并进行编程调试。

二、评价

查阅相关资料，并结合本章学习的内容，在机器人车体上安装机械爪，利用两个灰度传感器实现抓取物品和导航的功能。试着利用程序化控制方法进行分析，设计流程图，并进行编程测试。针对在此实践过程中的表现及遇到的问题进行评价。

自我评价：。

同学评价：。

老师评价：。

第六章 机器人综合设计实践

通过前面的学习，我们已经掌握了制作机器人的硬件方面所必备的知识，并对机器人的编程软件及控制策略有了较为深刻的理解。在本章中，我们将通过实例，进一步学习机器人的设计、制作及控制方法，更加系统全面地了解设计、制作一个机器人的全过程。

第一节 机器人轨迹导航任务

“导航”一词对于我们来说并不陌生，地图导航功能使我们的出行更加便捷。同样，机器人也需要“导航”的指引来完成任务。那么，如何实现机器人的“导航”呢？

一、任务分析

阅读材料

2012年，某大型网络电子商务公司花费巨资收购了一家自动化物流提供商的机器人仓储业务。随后，该网络电子商务公司开始在其仓库中大规模部署仓储机器人（图6-1），大大提升了仓储运行的效率，让人们了解到仓储机器人的重要性。仓储机器人可以按照指定的路径行进，可以完成将货架从订单区移动到分拣区等任务。



图6-1 仓储机器人



机器人轨迹导航是指机器人能够平滑地跟踪某个规定的路径。

下面我们以机器人按照图6-2所指定的路线进行导航运动，来模拟仓储机器人按指定路线行进的工作过程。

二、方案设计

问题思考

机器人的路径轨迹是由一条铺设在地面的黑线或白线构成的，机器人如何才能识别出地面上的黑线或白线呢？



想要使机器人识别地面上的黑线或白线，并完成轨迹导航任务，我们很容易想到选择使用灰度传感器，并且至少需要使用两个灰度传感器。因为如果只安装一个灰度传感器，一旦机器人偏离轨迹就很难再重新回到预定路径，所以为了避免这种情况的出现，我们需要安装两个灰度传感器配合工作。一个安装在车头左侧，一个安装在车头右侧。机器人检测原理及程序设计设想如图6-3所示。



图6-2 机器人的路径轨迹

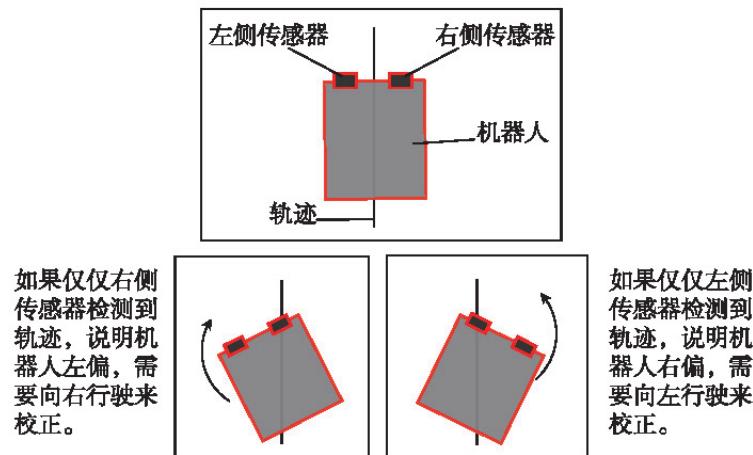


图6-3 机器人检测原理及程序设计设想

机器人利用两个灰度传感器进行轨迹导航的行为策略如表 6-1 所示。机器人上的灰度传感器识别到黑线为触发，识别到白色地面为未触发。

表6-1 灰度传感器的触发情况及机器人的行驶状态、对应行为策略

左侧传感器	右侧传感器	机器人行驶状态	对应行为策略
未触发	触发	左偏	向右调整
触发	未触发	右偏	向左调整
触发	触发	到达终点	停止
未触发	未触发	正常	前进

三、机器人的控制策略

本节中程序控制策略的设计主要是将上述分析结果采用结构化的设计思想，利用多分支结构设计程序流程图（图 6-4）。

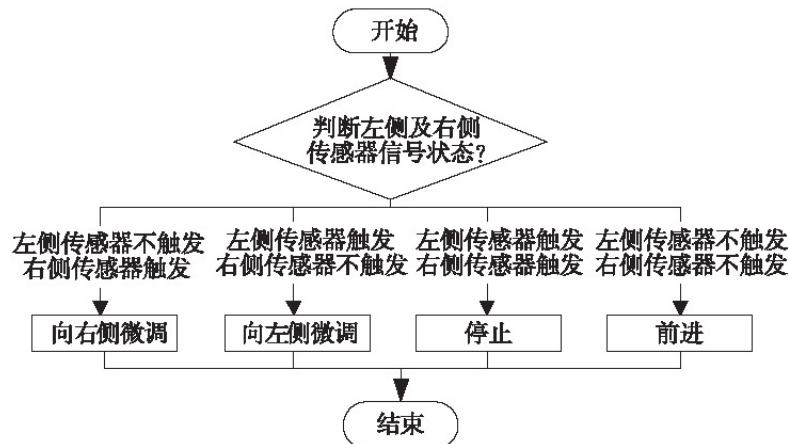


图6-4 机器人轨迹导航任务流程图

四、机器人的编程与测试

(一) 机器人的组装

第一步：参照第三章内容中机器人车体的组装方法，完成机器人车体的组装。

第二步：参照表 6-3 所示的步骤，将两个灰度传感器安装在机器人车体上，连接好电路，开始运行调试。组件清单如表 6-2 所示。

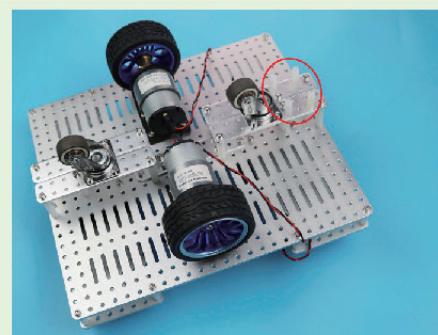
注意：灰度传感器具有有效测量范围。安装灰度传感器时，请同学们注意传感器与地面的距离。

表6-2 安装灰度传感器的组件清单

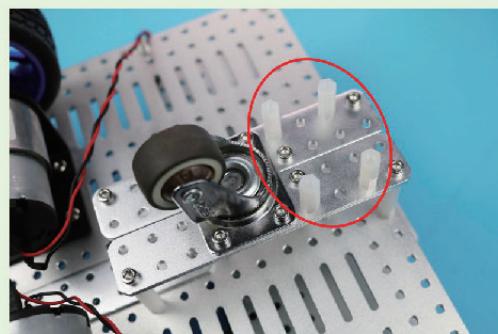
名称	$\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱	灰度传感器	传感器连接线	$M3 \times 8$ 螺钉
数量	4	2	2	8

表6-3 安装灰度传感器的步骤

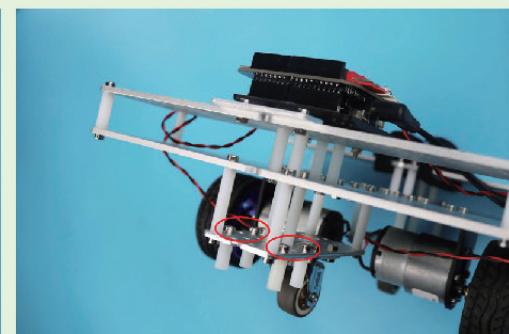
第一步：用 4 个 $M3 \times 8$ 螺钉将 4 个 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱安装在 2 × 10 孔平板上（位于主控板下方）。



整体图

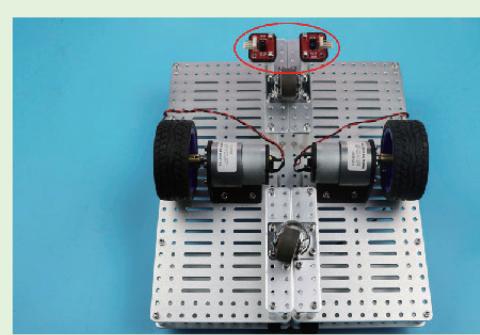


局部图

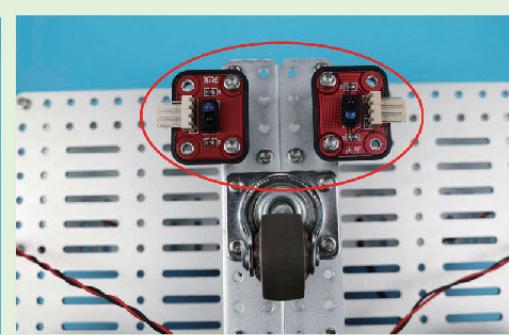


局部图

第二步：用 4 个 $M3 \times 8$ 螺钉将 2 个灰度传感器安装在 $\phi 3 \times 15$ 内螺纹螺柱上。



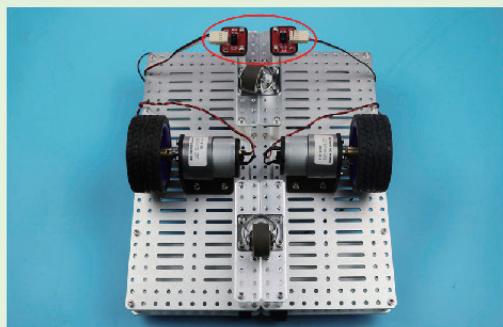
整体图



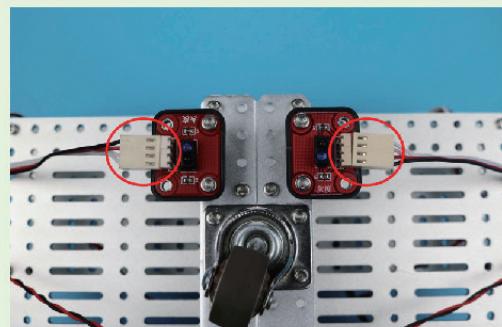
局部图

续表

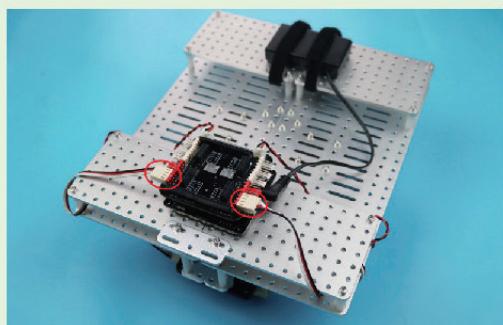
第三步：找到2根传感器连接线，将2个灰度传感器分别接在扩展板的传感器接口A0、A4上。



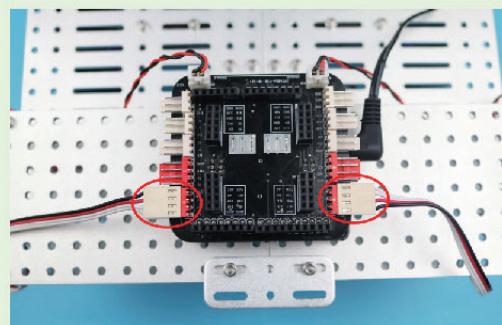
整体图



局部图



整体图



局部图

两个灰度传感器安装完成后的机器人车体如图6-5所示。

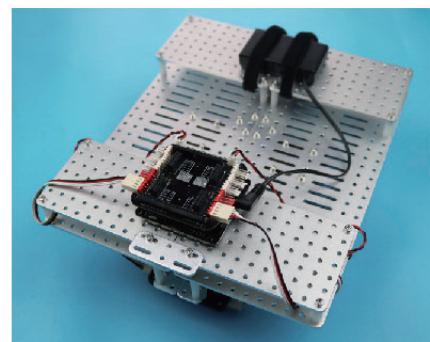


图6-5 安装了两个灰度传感器的机器人车体



(a) 主程序



(b) 子程序

图6-6 机器人轨迹导航任务参考程序

技术实践

机器人轨迹导航任务可以利用条件语句穷举法来实现和完成，也可以利用条件语句嵌套的方法来实现和完成，其参考主程序如图 6-7 所示，子程序部分与图 6-6 相同。请将该程序补充完整，并反向推出其对应的程序流程图。

- (1) 如果左侧与右侧传感器同时检测到黑线，小车停止。
- (2) 如果左侧传感器检测到黑线，右侧没有检测到黑线，小车慢速左转。
- (3) 如果左侧传感器没有检测到黑线，右侧检测到黑线，小车慢速右转。
- (4) 如果左侧与右侧传感器都没有检测到黑线，小车前进。



图6-7 机器人轨迹导航任务参考主程序



技术探究

根据项目要求撰写“机器人轨迹导航任务”的机器人设计书，格式参考如下。

一、概述

简述项目背景及需要实现的目标。

二、项目实施前的概况

(一) 存在的问题

根据已给出的信息确定机器人的功能，找出功能设计中需要解决的关键问题。

(二) 需求及目标分析

将上述提到的关键问题转化为具体需求，明确要达到的目标。

三、方案设计

(一) 技术介绍

1. 技术概况

简述此项目中的机器人可能用到的硬件模块及机器人的控制策略。

2. 调查研究

对讨论出的关键性问题进行筛选，保留其中最关键的问题。

(二) 技术应用

1. 总体设计

总述项目目标实现的控制策略及步骤。

2. 设计方案一

详细论述项目目标实现的具体控制策略及步骤。

3. 设计方案二

详细论述备选设计方案一的具体控制策略及步骤。

.....

四、项目实施

1. 准备工作

详细记录系统硬件结构的搭建过程。

2. 方案验证

先用最低代价进行机器人测试。如果有可能的话，应将一个整机分为较独立的多个模块，对可行的整机方案分别进行测试和筛选。测试结束后，对独立的模块进行整合或融合，在保持模块独立性的同时，使其整体协调。独立的模块发生故障时，可以非常容易地被替换；而整合的设计可以解决时间、成本方面的问题，提高稳定性。机器人验证通过后，再投入精力进行工程化、规范化设计。最后通过不断尝试，测试每种方案的极限，用排除法选择最优方案。

3. 系统整体调试

详细记录系统最优方案的整体调试过程。

.....

五、方案总结

总结项目实施过程中遇到的问题及解决方法，并对方案可行性及可能存在的问题进行详细论述。



第二节 机器人搬运任务

机器人搬运是指机器人握持工件从一个位置移动到另一个位置，主要应用于工业作业。搬运机器人可安装不同的末端执行器，以帮助人们完成对各种形状和状态物体的搬运工作。

一、任务分析

通过完成将存放区外的工件（图 6-8）搬运至存放区的任务，来模拟机器人的搬运过程。机器人首先需要通过循迹找到在存放区外的工件，然后利用机械爪将工件夹起并保持工件处于夹持状态（距离地面 1cm 以上），最后将工件搬运至存放区，即算完成任务（图 6-9）。

注意：将工件夹持后，搬运至存放区的这段路径可按照个人意愿进行自主设计和选择（循迹或定时前进）。

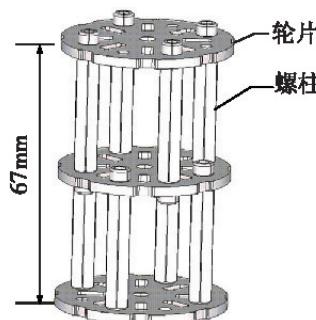


图6-8 工件组装图

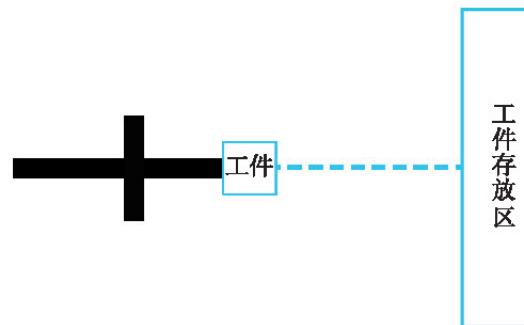


图6-9 任务示意图

二、方案设计

在第二章中，我们已经详细学习了机械爪的工作原理及安装步骤，在本章第一节中，我们实现了机器人轨迹导航任务。现在，我们将机器人车体与机械爪结合，完成搬运机器人的制作。搬运机器人利用灰度传感器沿黑色轨迹运动，通过机械爪实现工件的抓取，从而完成机器人搬运任务。

机器人前端装配两个灰度传感器，在初始阶段进行循迹。当两个传感器同时触发时，机器人停止运动，机械爪抓取工件并且保持夹持状态（离地面最少 1cm）。夹取完成后，机器人向前运动 5s 至存放区，机械爪放下工件，任务完成。

三、机器人的控制策略

阅读材料

运动控制是对机械运动部件的位置、速度等进行实时的控制管理，使机器人按照预期的运动轨迹和规定的运动参数进行运动。机器人控制结构的选择，是由机器人所执行的任务决定的，对不同类型的机器人、不同的执行任务，有不同的控制结构和控制方法。常见的用于运动控制的机器人，可以对其路径进行规划。机器人路径规划问题研究的是如何依据某种最优准则，规划出一条让机器人可以从出发点到达目标点，并可以安全避开障碍物的最优路径或者次优路径。这里的路径是指机器人从一个端点移动到另一个端点的最快最直接的路线（省时省力），通常重点考虑终点的位置，而对中间的路径和速度不做场合的限制。



讨论交流

开展“头脑风暴”式的讨论交流：将工件夹持起搬运至存放区的这段路程共有多少种路径？其最优路径是什么？



在本章第一节的基础上，对任务进行综合分析，采用结构化的设计思想，综合利用顺序结构、分支结构、循环结构设计程序流程图（图 6-10）。

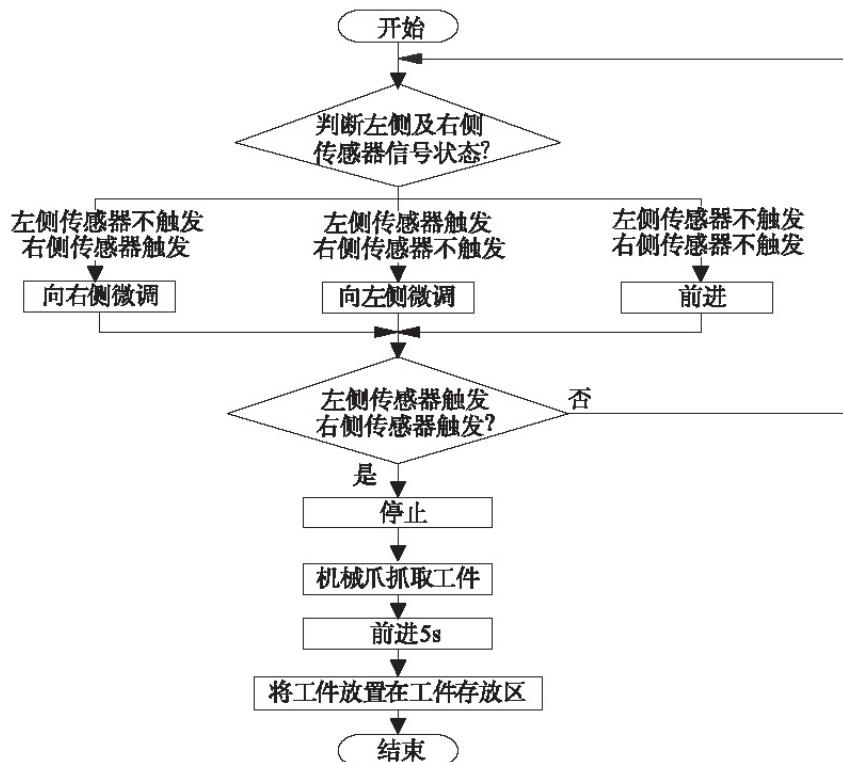


图6-10 机器人搬运任务流程图

四、机器人的编程与测试

(一) 机器人的组装

(1) 参照本章第一节中机器人的组装方法, 完成机器人的组装(图6-11)。

(2) 参照第二章中机械爪的组装方法, 完成机械爪的组装(图6-12)。

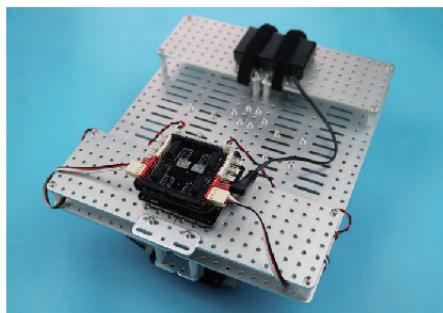


图6-11 机器人组装图



图6-12 机械爪组装图

(3) 参照关节模块的组件清单(表6-4)和组装步骤(表6-5), 完成关节模块的组装。

表6-4 关节模块的组件清单

名称	标准舵机	输出头	舵机后盖输出头	标准舵机支架
数量	1	1	2	1
名称	舵机双折弯	M2×6螺钉	M3×8螺钉	螺母
数量	1	1	8	8

表6-5 关节模块的组装步骤

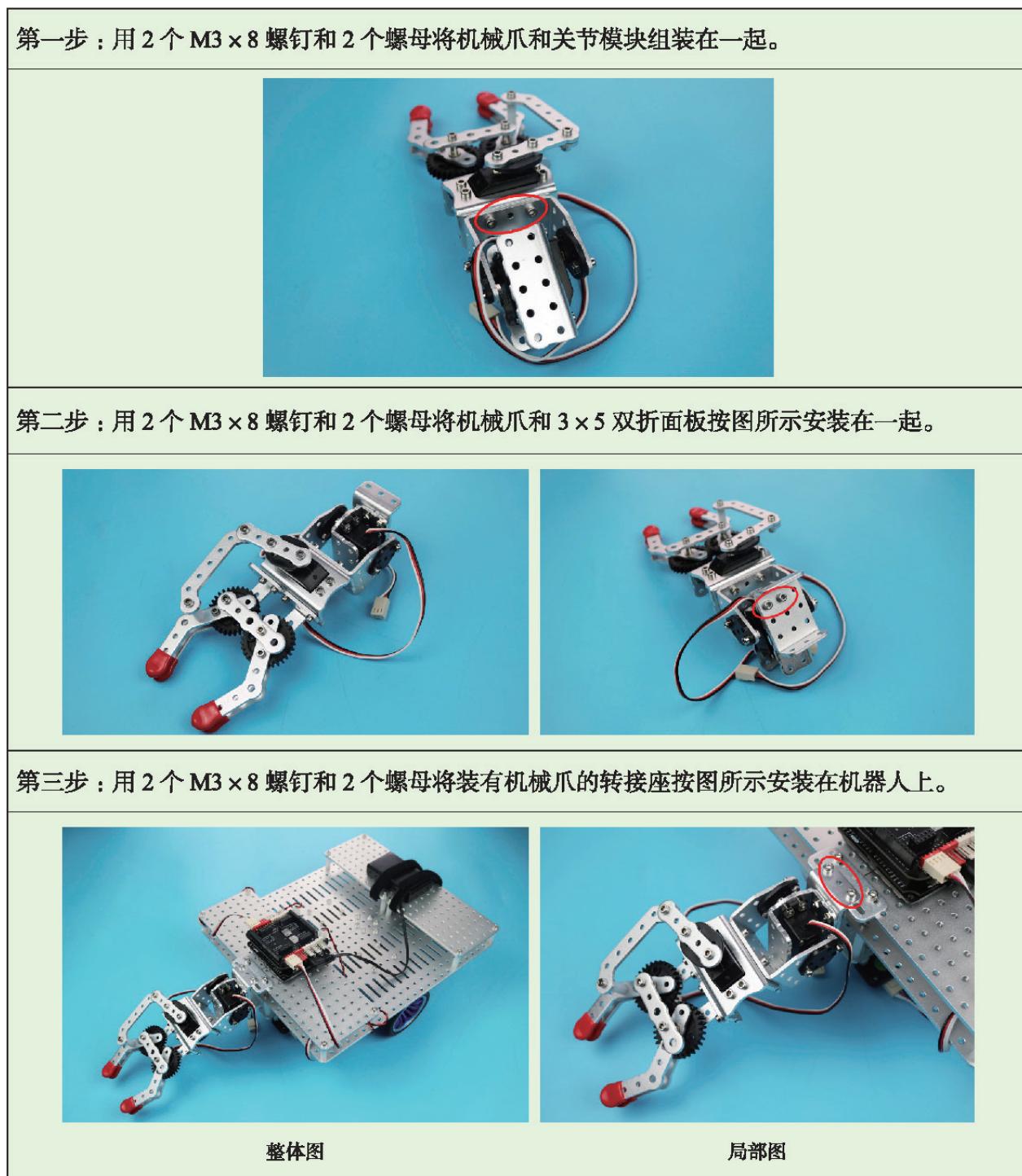
第一步：用4个M3×8螺钉和4个螺母把标准舵机和标准舵机支架装配在一起。	第二步：把舵机角度调整到中间位置后，用M2×6螺钉锁上输出头。
第三步：用2个M3×8螺钉和2个螺母把舵机双折弯固定到输出头上，然后从后面扣上舵机后盖输出头，并用2个M3×8螺钉和2个螺母固定，组装完成。	

(4) 将关节模块、机械爪、机器人车体按照组件清单(表6-6)及组装步骤(表6-7)组装在一起，构成搬运机器人。

表6-6 机器人整合的组件清单

名称	机器人车体	关节模块	机械爪	3×5双折面板	M3×8螺钉	螺母
数量	1	1	1	1	6	6

表6-7 机器人整合的组装步骤

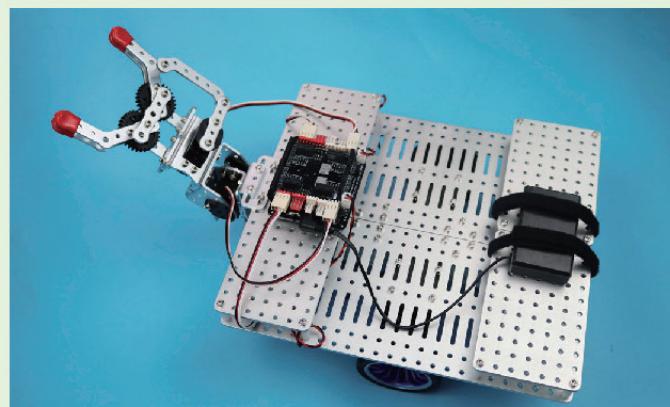


整体图

局部图

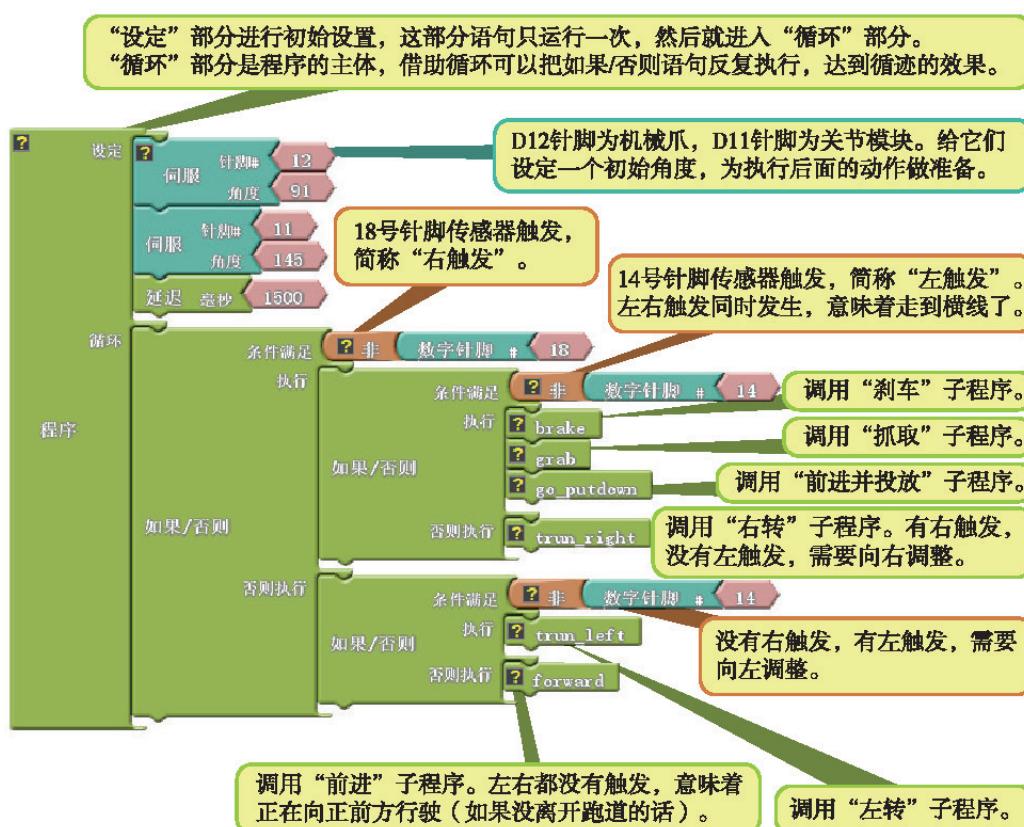
续表

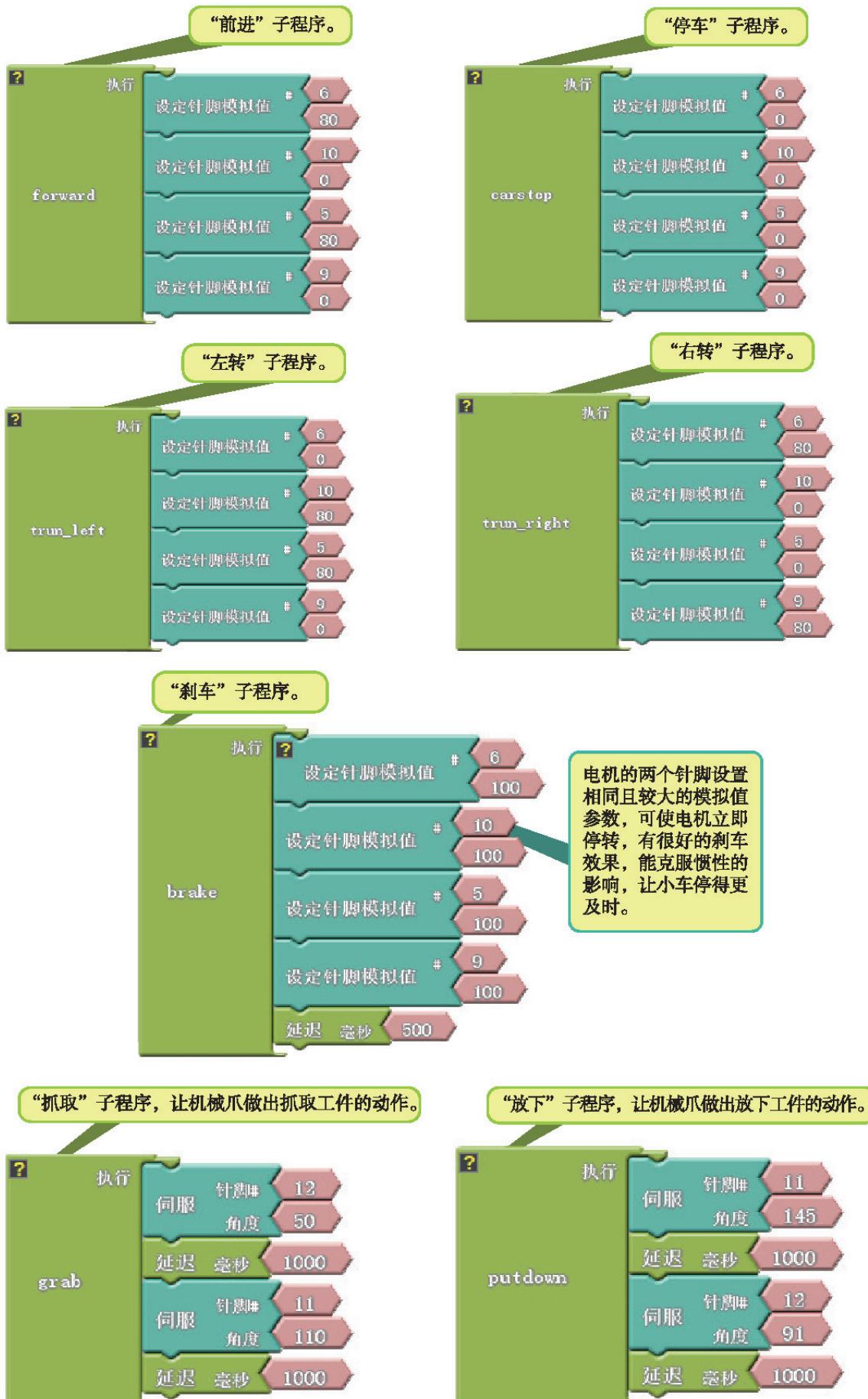
第四步：将关节模块的舵机线连接到 D11 端口，将机械爪的舵机线连接到 D12 端口，完成安装。



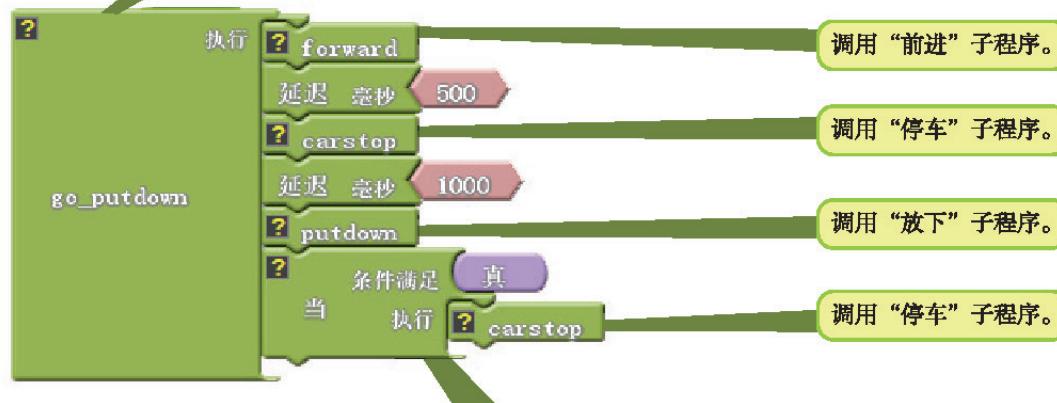
(二) 编程调试

图 6-13 提供了机器人搬运任务的参考程序，供大家参考。请同学们对组装好的机器人进行调试并完成任务。





“前进并投放”子程序。前进0.5s后停车1s，放下工件，然后进入while死循环，完全停止。



while循环，这是一个死循环，因为条件为“真”，“真”意味着条件必然成立，因此没有跳出循环的可能，除非重新启动机器人。因此，程序执行到这里，小车会一直停止。

图6-13 机器人搬运任务参考程序

技术探究

请根据项目要求撰写“机器人搬运任务”的机器人设计书。



小结与评价

一、小结

本章详细介绍了“机器人轨迹导航任务”和“机器人搬运任务”的设计、制作实例，帮助同学们掌握机器人的设计、制作过程，并学会撰写机器人设计书。

二、评价

请结合本章学习的内容，针对在设计、制作机器人的实践过程中的表现及遇到的问题等，参考以下方面进行评价。

- (1) 团队成员分工是否明确？
- (2) 机器人安装步骤是否符合规范要求？
- (3) 机器人的控制策略是否合理？程序编写是否正确？

自我评价：_____。

同学评价：_____。

老师评价：_____。

后记

根据教育部的统一部署，依据教育部颁布的《普通高中通用技术课程标准（2017年版）》，参考十多年来教材实验成果，并在广泛征求一线教师、教研人员的意见及进行教材比较研究的基础上，本着强调基础、注重发展、突出育人的修订原则，对《简易机器人制作》进行了修订，并根据课程标准要求将书名改为《机器人设计与制作》。此次修订，主要对教材的内容结构体系进行了调整，重新架构了学生实践活动体系，在教材内容的选择上，注重思想性、时代性、整体性和创新性，注重中国优秀技术文化教育，注重反映我国古代、现代科技成果和科技进步成就，特别注重吸收我国最新技术研究成果和技术设计新理念。修订后的教材，脉络更加清晰，结构更加严谨，内容编排更加符合学科逻辑、教学逻辑和学生的认知规律，形成了较为完善的以学生的技术核心素养为导向、注重培养学生创新思维和实践能力的教材内容结构体系和学生活动结构体系。有助于培养学生的创新思维和工匠精神，有助于学生技术学科核心素养的养成，有助于立德树人的根本任务的落实。

本套教材的原主编为孙世强、鲍珑、陈玲玲，本册教材的原主编为崔世钢，编写人员为崔世钢、耿丽清、郑桐、张淑珍、李宏伟、丁茹、郝立果、吴兴利等。本套教材的修订主编为陈玲玲、王永奉，副主编为王明彦；本册教材的修订主编为崔世钢，参加本册教材修订工作的人员有崔世钢、王永亮、孙永、刘辉、史明芳。

本册教材的修订得到了许多专家、学者和老师的指导与帮助。北京教科院孟献军老师、山东省教科院王秀玲老师、湖南省教科院董仲文老师、贵州省教科院刘惠平老师、河北省教科所王秋岩老师及石家庄市教科所胡刚老师等对本册教材的修订工作给予了大力支持和指导，在此深表感谢。

本册教材在山东、北京、河北、湖南、贵州、四川、广东等多个省（市）进行了试教，并请了一批一线教师进行了审读，根据师生的反馈意见，我们对本册教材先后进行了多次修改。在此，对参加审读与试教的各位老师和同学一并表示感谢。