

北京市科学技术委员会  
科普专项资助

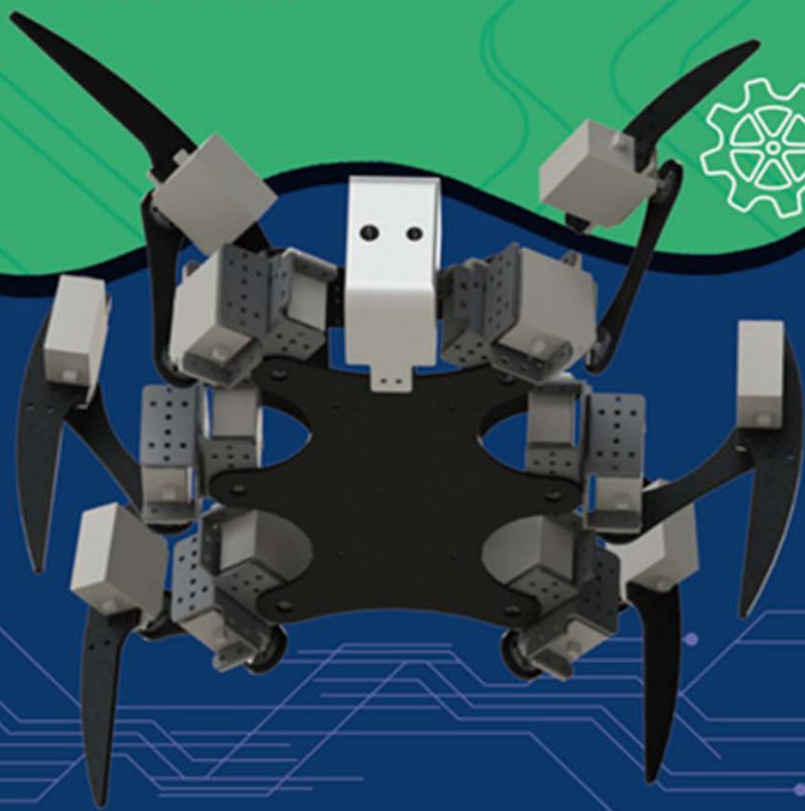
北京市科学技术委员会  
科普专项经费资助



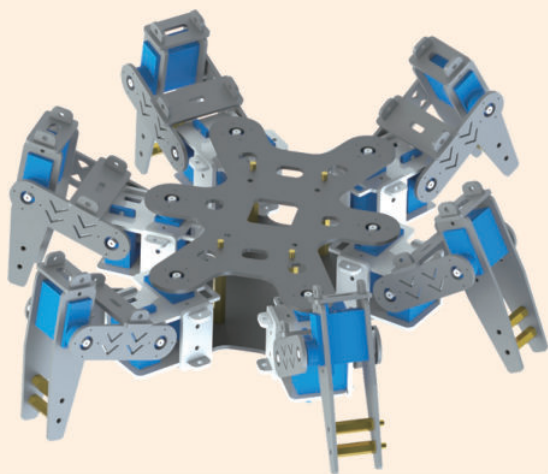
我的机器人创客教育系列

# 仿蛛机器人的 设计与制作

罗庆生 罗 霄 郑凯林 编著



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



我的机器人创客教育系列

# 仿蛛机器人的设计与制作

罗庆生 罗 霄 郑凯林 ●编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (CIP) 数据

仿蛛机器人的设计与制作/罗庆生, 罗霄, 郑凯林编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 7

(我的机器人创客教育系列)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7318 - 3

I. ①仿… II. ①罗… ②罗… ③郑… III. ①仿生机器人 - 设计 - 青少年读物②仿生机器人 - 制作 - 青少年读物 IV. ①TP242 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 157195 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 13.75

字 数 / 260 千字

版 次 / 2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 55.00 元

责任编辑 / 张慧峰

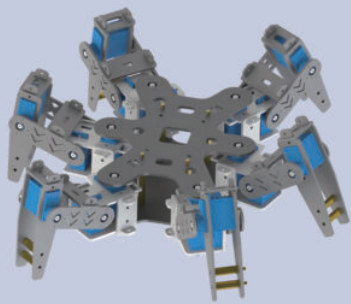
文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



# 序 言

青少年是祖国的未来，科学的希望。以我国广大青少年为对象，开展规范性、系统性、引领性、全局性的科技创新教育与实践活动，让广大青少年通过这些活动，将理论研究与实际应用结合，将动脑探索与动手实践结合，将课堂教学与社会体验结合，将知识传承与科技创新结合，使广大青少年能有效提升创新兴趣，熟悉创新方法，掌握创新技能，增长创新能力，成为我国新时代的科技创新后备人才，意义重大，影响深远。

在形形色色的青少年科技创新教育与实践活动中，机器人科普教育、科研探索、科技竞赛别具特色，作用显著。这是因为机器人是多学科、多专业、多技术的综合产物，融合了当今世界多种先进理念与高新技术。通过机器人科普教育、科研探索、科技竞赛，可以使广大青少年在机械技术、电子技术、计算机技术、传感器技术、智能决策技术、伺服控制技术等方面得到宝贵的学习与锻炼机会，能够有效加深青少年对科技创新的理解能力，并提高其实践水平，让他们尽早爱科学、爱创新。

了解机器人的基本概念，学习机器人的基本知识，掌握机器人的设计与制作技巧，提升机器人的展演水平与竞技能力，将使广大青少年走近我国科技创新的最前沿，激发青少年对于科技创新尤其是机器人创新的兴趣与爱好，挖掘青少年开展科技创新的潜力，夯实青少年成为创新型、复合型人才的理论与技术基础。

“我的机器人创客教育系列”丛书重点讲述了仿人、仿蛇、仿狗、仿鱼、

仿蛛、仿龟等六种机器人的设计与制作，之所以选择了这六种仿生机器人作为本套丛书的主题，是出于以下考虑：在仿生学一词频繁在科研领域亮相时，仿生机器人也逐步进入了人们的视野。由于当代机器人的应用领域已经从结构化环境下的定点作业，朝着航空航天、军事侦察、资源勘探、管线检测、防灾救险、疾病治疗等非结构化环境下的自主作业方向发展，原有的传统型机器人已不再能够满足人们在自身无法企及或难以掌控的未知环境中自主作业的要求，更加人性化和智能化的、具有一定自主能力、能够在非结构化的未知环境中作业的新型机器人已经被提上开发日程。为了使这一研制过程更为迅速、更为高效，人们将目光转向自然界的各种生物身上，力图通过有目的的学习和优化，将自然界生物特有的运动机理和行为方式，运用到新型仿生机器人的研发工作中去。

仿生机器人是一个庞大的机器人族群，从在空中自由飞翔的“蜂鸟机器人”和“蜻蜓机器人”，到在陆地恣意奔跑的“大狗机器人”和“猎豹机器人”，再到在水下尽情嬉戏的“企鹅机器人”和“金枪鱼机器人”；从肉眼几乎无法看清的“昆虫机器人”到可载人行走的“螳螂机器人”，现实世界中处处都可看见仿生机器人的身影，以往只有在科幻小说中出现的场景正在逐步与现实世界交汇。

仿生机器人的家族成员们拥有五花八门的外观形貌和千奇百怪的身体结构，它们通过不同的机械结构、步态规划、行动特点、反馈系统、控制方式和通信手段模拟着自然界中各种卓越的生物个体，同时又通过人类制造的计算机、传感器、控制器以及其他外部构件，诠释着自己来自实验室的特殊身份。如今，这支源于自然世界和科学世界混合编组的突击部队正信心满满，准备在人类生活中大显身手。

时至今日，仿生机器人已经成为家喻户晓的“大明星”，每一款造型新颖、构思巧妙、功能独特、性能卓异的仿生机器人自问世之时起都伴随着全世界的惊叹和掌声，仿生机器人技术的迅速发展对全球范围内的工业生产、太空探索、海洋研究，以及人类生活的方方面面产生越来越大的影响。在减轻人类劳动强度，提高工作效率，改变生产模式，把人从危险、恶劣、繁重、复杂的工作环境和作业任务中解放出来等方面，它们显示出极大的优越性。人们不再满足于在展示厅和实验室中看到机器人慢悠悠地来回走动，而是希望这些超能健儿们能够在更加复杂的环境中探索与工作。

北京理工大学特种机器人技术创新团队成立于2005年，是在罗庆生教授和韩宝玲教授带领下，长期不懈地走在特种机器人科技创新探索、科研任务攻关道路上，充满创新能量、奋斗不息的一支标兵团队。该创新团队的主要研究领域为光机电一体化特种机器人、工业机器人技术、机电伺服控制技

术、机电装置测试技术、传感探测技术和机电产品创新设计等。目前已研制出仿生六足爬行机器人、新型特种搜救机器人、多用途反恐防暴机器人、新型工业码垛机器人、新型轮腿式机器人、新型节肢机器人、新型工业焊接机械臂、陆空两栖作战任务组、外骨骼智能健身与康复机、“神行太保”多用途机器人、履带式壁面清洁机器人、小型仿人机器人、“仿豹”跑跳机器人、先进综合验证车、仿生乌贼飞行机器人、履带式变结构机器人、制导反狙击机器人、新型球笼飞行机器人等多种特种机器人。该团队在承研某部“十二五”重点项目——新型仿生液压四足机器人过程中，系统、全面、详尽、科学地开展了四足机器人结构设计技术研究、四足机器人动力驱动技术研究、四足机器人液压控制技术研究、四足机器人仿生步态技术研究、四足机器人传感探测技术研究、四足机器人系统控制技术研究、四足机器人器件集成技术研究、四足机器人操控装备技术研究，在有关液压四足机器人的仿生研究、机构设计、结构优化、机械加工、驱动传感、液压伺服、系统控制、人工智能、决策规划和模式识别等高精尖技术方面取得一系列创新与突破，从而为本套丛书的撰写提供了丰富的资料和坚实的基础。

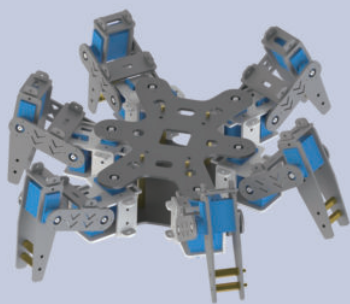
本套丛书的主创人员在开发高性能、多用途仿生机器人方面具有丰富的研制经验和深厚的技术积累，由罗庆生、韩宝玲、罗霄撰写的专著《智能作战机器人》曾获“第五届中华优秀出版物奖图书奖”称号，这是我国出版物领域中的三大奖项之一，表明其在科技领域，尤其是在机器人领域中的实力与地位。

本丛书由罗庆生、罗霄担任主撰；蒋建锋、乔立军、王新达、陈禹含、郑凯林、李铭浩等人参与了本套丛书的研究与撰写工作，并担任各分册的主创人员。

在本套丛书的研究与写作过程中，得到了北京市教委、北京市科委等部门相关领导的极大关怀，得到了北京理工大学出版社的热情帮助，还得到了许多同仁的无私支持。值本书即将付印出版之际，谨向所有关心、帮助、支持过我们的领导、专家、同事、朋友表示衷心的感谢！

少年强则中国强，创新多则人才多。让机器人技术助圆我国广大青少年的“中国梦”！

作 者  
2019年7月于北京



# 目 录

## CONTENTS

<b>第 1 章</b>	<b>我能像蜘蛛一样爬行</b>	<b>1</b>
1.1	给你讲讲我的历史	1
1.2	仿蛛机器人是怎样爬行的	3
1.3	我的名字叫仿蛛机器人	6
<b>第 2 章</b>	<b>我身体的结构</b>	<b>7</b>
2.1	我的心脏	7
2.1.1	我的能量源	7
2.1.2	电源系统的工作机理	8
2.1.3	电源系统的主要作用	8
2.1.4	电池的选用	9
2.2	我的关节——驱动系统	9
2.2.1	直流电机	10
2.2.2	步进电机	11
2.2.3	伺服电机	12
2.2.4	舵机	14
2.2.5	舵机的驱动与控制	16
2.3	我身体的结构设计	18
2.3.1	仿蛛机器人自由度的确定	18

2.3.2	二自由度的腿部结构设计	19
2.3.3	三自由度的腿部结构设计	19
2.3.4	仿蛛机器人腿部结构的设计	21
2.3.5	仿蛛机器人躯干结构的设计	58
2.3.6	舵机选型与安装尺寸的确定	59
2.3.7	转动副配合与尺寸的确定	61

### 第3章 我的眼睛 ..... 62

3.1	视觉传感器	64
3.1.1	CCD 器件	64
3.1.2	CMOS 器件	65
3.1.3	CCD 与 CMOS 的比较	66
3.2	测距传感器	67
3.2.1	测距传感器的分类	67
3.2.2	测距传感器的工作原理	68
3.2.3	超声波传感器的使用	72
3.2.4	人体热释电传感器的使用	73
3.3	触觉传感器	75
3.3.1	触觉传感器的分类	75
3.3.2	触觉传感器的工作原理	76
3.4	姿态传感器	79
3.4.1	姿态传感器的分类	79
3.4.2	姿态传感器的工作原理	80
3.5	温度传感器	82
3.5.1	温度传感器的分类	82
3.5.2	温度传感器的工作原理	83

### 第4章 快把我制作出来吧 ..... 86

4.1	组装机器人必备的工具	86
4.1.1	五金工具	87
4.1.2	切割设备	88
4.1.3	3D 打印机	92
4.1.4	测量工具	98
4.2	根据三维模型生成二维切割图纸	106
4.3	零件的切割加工	109

4.4	仿蛛机器人的装配	111
4.4.1	仿蛛机器人单腿的装配	111
4.4.2	仿蛛机器人躯干的装配	114
4.4.3	仿蛛机器人整体的装配	115
<b>第5章</b>	<b>请你教我思考</b>	<b>116</b>
5.1	仿蛛机器人的控制系统设计	116
5.1.1	机器人控制系统的基本组成	116
5.1.2	机器人控制系统的工作机理	117
5.1.3	机器人控制系统的主要作用	118
5.2	单片机控制技术简述	119
5.2.1	单片机的工作原理	119
5.2.2	单片机系统与计算机的区别	120
5.2.3	单片机的驱动外设	120
5.2.4	单片机的编程语言	121
5.3	ARM 控制技术简述	122
5.3.1	ARM 简介	122
5.3.2	ARM 的特点	122
5.3.3	ARM 的驱动外设	123
5.3.4	ARM 的编程语言	123
5.3.5	控制板 PCB 的设计与制作	124
5.4	Arduino 控制技术	127
5.4.1	Arduino 简介	127
5.4.2	Arduino 引脚分配图简介	128
5.4.3	Arduino 开发环境的搭建	133
5.4.4	Arduino 语言简介	135
5.4.5	C/C++ 语言基础	137
5.4.6	Arduino 对舵机的控制	146
5.4.7	Arduino 对蓝牙模块通信的控制	147
5.4.8	图形化编程简介	152
5.4.9	DFRduino Player MP3 语音播放模块的使用	152
5.4.10	Arduino 颜色传感器：颜色识别挥手传感器模块	160
5.5	机器人通信技术	165
5.5.1	蓝牙无线通信技术	165
5.5.2	超宽带无线通信技术	169

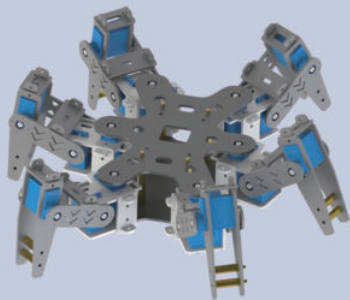
## 仿蛛机器人的设计与制作

5.5.3 ZigBee 无线通信技术 .....	172
5.5.4 Wi-Fi 无线通信技术 .....	177
5.5.5 2.4 GHz 无线通信技术 .....	180

## **第 6 章** 仿蛛机器人的编程与调试 ..... 183

6.1 仿蛛机器人主控制器简介 .....	183
6.2 手柄接收器和舵机板的连接方法 .....	186
6.3 上位机软件的使用 .....	188
6.4 仿蛛机器人的动作编写 .....	192

## 参考文献 ..... 196



# 第 1 章

## 我能像蜘蛛一样爬行

### 1.1 给你讲讲我的历史

近些年来，仿生学（就好像是语文、数学、英语这样的学科）已经从一个很少有人关注的冷门学科逐渐热火起来，并逐渐走进人们的视野，开始在方方面面获得广泛的应用。仿生学（bionics）这个名词最早是在 1958 年由美国人斯蒂尔（Jack Ellwood Steele）采用拉丁文“bios”（生命方式）和词尾后缀“nic”（具有……性质的）组合而成<sup>[1]</sup>。

仿生学是研究生物系统的结构、形状、原理、行为，为工程技术提供新的设计思想、工作原理和系统构成的技术科学，是一门融合了数学、力学、信息科学、系统科学，以及工程技术等学科交叉而成的新兴学科<sup>[2]</sup>。仿生学为科学技术的创新提供了新思路、新理论、新原理和新方法。

人们已越来越清醒地认识到，生物具有的功能比迄今为止任何人工制造的

## 仿蛛机器人的设计与制作

机械装备或技术系统都要优越，仿生学就是要有效地应用生物功能并在工程上加以实现的一门学科，仿生学的研究和应用将打破生物和机器的界限，将各种不同的系统沟通、连接起来<sup>[3]</sup>。

生物学机理与机器人技术的结合，形成了仿生机器人<sup>[4]</sup>。仿生机器人是机器人家族中一个新兴的发展分支，是指模仿生物的外部形状、运动原理和行为方式，并能从事生物特点工作的机器人。仿生机器人的种类相当庞杂，涵盖了天上、地面、水中等不同活动领域的各类机器人，其中在地面行走的机器人，根据其行走方式的不同，可以分为跳跃机器人、行走机器人、爬行机器人；根据其运动特点的不同，可以分为轮式机器人、足式机器人、履带式机器人。本书主要对仿蛛机器人进行设计，目标是基于生物界中蜘蛛的生理结构，运用其生物特征，设计出能平衡行走、判断方向、感受外界刺激的机器人。图 1-1 ~ 图 1-6 展示了多种仿生机器人<sup>[5]</sup>。

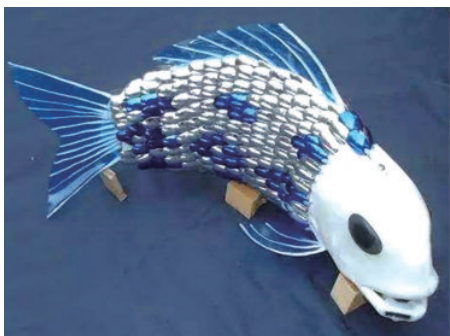


图 1-1 仿鱼机器人



图 1-2 仿蛛机器人

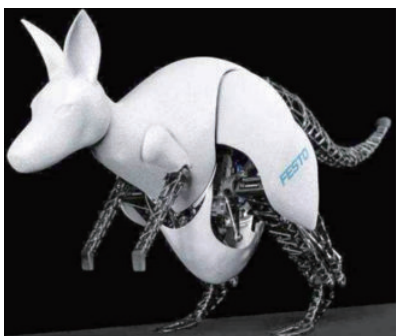


图 1-3 仿袋鼠机器人



图 1-4 仿人机器人



图 1-5 仿狗机器人

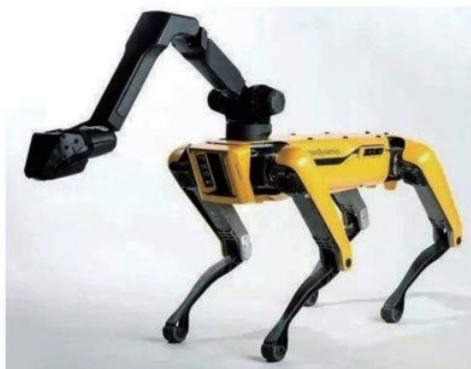


图 1-6 波士顿机器人狗

## 1.2 仿蛛机器人是怎样爬行的

仿蛛机器人行走步态的定义。机器人（此处特指多足机器人）的行走步态是指机器人的每条腿按一定的顺序和轨迹实现行走的运动过程，正是因为有了这一运动过程才实现了机器人的步行运动<sup>[6]</sup>。显然，机器人每条腿的行走顺序和足端轨迹会多种多样，所以机器人才会呈现出丰富多彩的运动效果。

步态周期是指多足机器人完成一个步态所需的时间，也就是所有腿轮番完成一次“提起-摆动-放下”的动作所花费的时间。在此过程中，机器人的身体也完成了相应的动作过程。机器人系统的步态周期参数可调，这个参数受限于机器人各关节所用驱动装置——舵机的性能。

占地系数是指机器人每条腿接触地面的时间和整个步态周期的比值。当占地系数等于 0.5 时，机器人是用两组腿交替摆动，这种步态称为小跑步态；当占地系数小于 0.5 时，机器人在任何瞬间只有不足三条腿支撑地面，称为跳跃步态；当占地系数大于 0.5 时，机器人轮番有三条腿以上支撑地面，这种步态俗称慢爬行步态。

机器人的重心在一个步态周期中的平移距离所对应的每条腿移动的幅度称为步幅<sup>[7]</sup>。

静态稳定性是指机器人的步行稳定性，在步态生成时必须进行稳定性分析<sup>[8]</sup>。对于多足机器人来说，在任何时候都要有足够多的腿立足于地面以支撑机器人的机体，确保机器人能够静态稳定地步行<sup>[9]</sup>。通常，至少需要三条这样的腿，并且由这三条腿的立足点构成的三角形必须包围机器人的重心垂直投

影。机器人步行时，虽然这个三角形区域是不停变化的，但只要机器人重心投影始终在这个交替变化的区域内，则机器人的步行就是稳定的（这就是所谓的ZMP判据，是对机器人静态稳定性进行判断的方法）。

根据 Grubler 公式（这是一个自由度计算的公式，机器人机体的运动自由度  $f_0 = a(n - j - 1) + \sum f_i$ ，其中  $n$  代表连杆数， $j$  代表关节数， $f_i$  代表第  $i$  个关节的自由度数， $a$  代表运动参数， $\sum$  是指所有关节自由度的求和<sup>[10]</sup>），机器人与地面的接触点可看作为球关节，其余关节为旋转关节。因此任何时候机器人的机动性不仅包括三维平动，还包括三维转动。四轴飞行器的空间自由度也可由此公式导出，只是四轴飞行器只有四个驱动输入，属于欠驱动系统，而六足机器人是冗余驱动。但它与四足机器人一样，姿态都是强耦合的。下面讲讲六足步行机器人的步态。

六足步行机器人的步态是多样的，其中三角步态是六足步行机器人实现步行的典型步态。“六足纲”昆虫步行时，一般不是六足同时直线前进，而是将六足分成两组，以三角形支架结构交替前行。目前，大部分六足机器人采用了仿昆虫的结构，6 条腿分布在身体的两侧，身体左侧的前、后足及右侧的中足为一组，右侧的前、后足和左侧的中足为另一组，分别组成两个三角形支架，依靠大腿前后划动实现支撑和摆动过程，这就是典型的三角步态行走法，如图 1-7 所示。图中机器人的髋关节在水平和垂直方向上运动。此时，B、D、F 脚为摆动脚，A、C、E 脚原地不动，只是支撑身体向前<sup>[11]</sup>。由于身体重心低，不用协调  $z$  向运动，容易稳定，所以这种行走方案得到广泛运用。

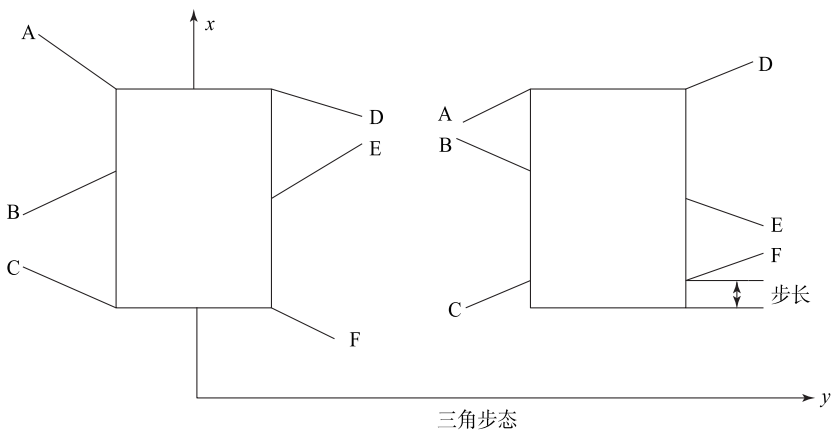


图 1-7 三角步态示意图

以六足机器人为例，组成六足机器人基本平台的部件包括：18 个舵机（每个舵机充当机器人的关节驱动器，每条腿有三个关节，六条腿共有 18 个关

节)、全身肢体结构、动力系统（大电流放电倍率的电池，如航模电池，见图 1-8）、航模电池平衡充电器一个，舵机控制板一个（至少连接 18 路舵机），还有一个作为自主控制或外部扩展的主控板（也就是各种单片机最小系统板和开发板）和配套下载模块。

简单来说，舵机控制板就是机器人的大脑组成部分之一，它负责发送指令以协调舵机的动作。机器人的主控系统就是大脑的主体，负责处理外界信息，统一指挥。机器人扩展的传感器就是感官系统，负责接收外界信息。舵机驱动板并不算是机器人的核心，它只是负责驱动舵机的模块而已，功能再多也只能让机器人跳跳舞，要实现机器人智能化必须要添加另外的主控器件，也就是给机器人装个大脑。市面上的 51 单片机、AVR、ARM 单片机（包括 STM32 单片机，见图 1-9）、Arduino 单片机（见图 1-10）都可以作为机器人的主控器件，再在主控上添加各种传感器模块就相当于给机器人安上了口鼻眼耳，等等，这样便初步形成了机器人的智能化框架。



图 1-8 航模电池

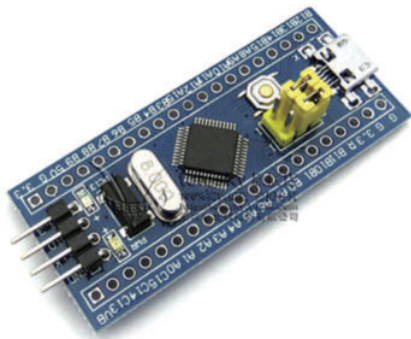


图 1-9 STM32 单片机

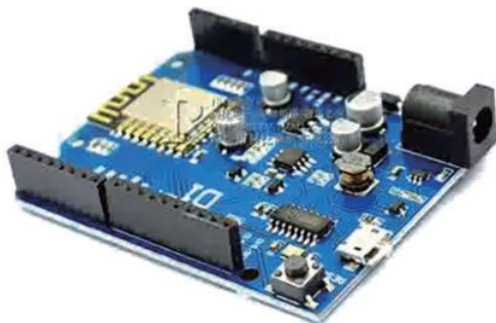


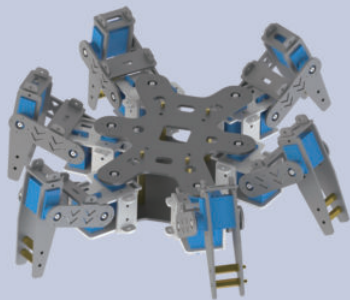
图 1-10 Arduino 单片机

### 1.3 我的名字叫仿蛛机器人

自然界的昆虫有1 000多万种，已命名的有110多万种，是最昌盛的动物类群。在昆虫庞大的家族中，六足昆虫种类繁多，本领高强，常常成为人们仿生研究的对象。本书就将以蜘蛛为模仿对象，设计出一款小巧灵活的仿生六足机器人。

首先通过对蜘蛛腿部结构特性和运动原理的分析与探讨入手，确定蜘蛛机器人所需结构类型，进而利用三维设计软件，将头脑中对蜘蛛机器人的初步构想进行拟实展现，设计出蜘蛛机器人整体及其零件的三维模型；待将机器人零件的三维模型生成可加工的二维工程图纸后，利用相关制作设备完成机器人各个零件的加工；最后将零件进行组装，即可制作出属于自己的小型仿蛛机器人。

该仿蛛机器人采用了模块化设计思想，每条腿都可以用相同的部件组装而成，但左右两边腿部需要对称装配。六条腿通过机身安装成一体，机身上面设有控制器安装孔，控制器可以牢固地安装在机身上。为了设计简单，机器人身上每个舵机尺寸、型号都是相同的，通过舵机输入线与控制器可靠连接。



# 第 2 章

## 我身体的结构

### 2.1 我的心脏

众所周知，心脏是较高等动物循环系统中的一个极其重要的器官，主要功能是为血液流动提供压力，把血液运行至躯体的各个部分。电源系统对于仿蛛机器人而言就如同心脏对躯体的作用一样，电源系统为仿蛛机器人的运动提供源源不断的动力。

#### 2.1.1 我的能量源

电源系统是机器人必不可少的组成部分，机器人设计得再精巧、功能安排得再复杂、性能表现得再优异，如果没有电源的驱动，机器人也会进退维谷，无法动弹半分。由于仿蛛机器人要求能够机动灵活地运动，特别是要求在狭小空间内也能够穿梭往来，灵动自如，采用拖缆方式进行有线供电显然是不行