

MODERN BIOMIMETIC ROBOTS DESIGN  
**现代仿生机器人设计**

罗庆生 韩宝玲 **主编** 赵小川 张辉 **副主编**

- ◎完善的功能配备
- ◎独特的结构设计
- ◎合理的步态规划
- ◎高效的控制系统
- ◎新颖的感测系统
- ◎完备的能量管理
- ◎广阔的应用前景



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

# 现代仿生机器人设计

完善的功能配备 独特的结构设计 合理的步态规划 高效的控制系统  
新颖的感测系统 完备的能量管理 广阔的应用前景

MODERN BIOMIMETIC ROBOTS DESIGN

上架建议：自动化/机器人

电子信箱：gp@phei.com.cn

投稿咨询电话：(010) 88254010



策划编辑：徐 静 责任编辑：钟永刚  
责任美编：余晓娟

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。



ISBN 978-7-121-05799-1



9 787121 057991 >

定价：30.00元

# 现代仿生机器人设计

罗庆生 韩宝玲 主 编  
赵小川 张 辉 副主编

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京 · BEIJING



## 内 容 简 介

本书是关于仿生多足机器人基础理论、关键技术、设计流程和工程应用等学术专题的专著，是作者在吸收和借鉴国内外相关学术理念的基础上，结合作者多年的研究经验及工作成果编著而成，主要介绍了仿生六足机器人设计的新理念、探索的新思路、研发的新技术、实验的新方法和工作的新成果。

本书以“功能需求→方案设计→效能评估→信息反馈”为主线，共分为13章。主要内容包括：绪论、机器人学与仿生学、仿生机器人模拟对象观测实验、仿生六足机器人结构设计技术、仿生六足机器人运动学分析、仿生六足机器人动力学分析、仿生六足机器人轨迹规划技术、仿生六足机器人虚拟样机技术、仿生六足机器人运动控制技术、仿生六足机器人传感探测技术、仿生六足机器人能源管理技术、仿生六足机器人视觉系统技术以及总结与展望等，使读者通过阅读此书对仿生机器人的基础理论、关键技术、设计流程和实际应用能有系统的认识和全面的了解，为提高我国仿生机器人的研发水平奠定基础。

本书不仅在仿生机器人相关理论的讲述与介绍方面做到了“高屋建瓴、统揽全局、体裁新颖、风格自然、深入浅出、条分缕析、层层递进、系统有序”，而且在仿生机器人关键技术的讲述与介绍方面做到了“主线突出、内容连贯、文字精练、语言流畅、方法可靠、资料翔实、图表精美、案例生动”，适于用做普通高等院校相关专业的研究生、本科生以及专科生进行机器人课程学习的教材，也适于用做广大从事机器人技术研究的科技工作者和高等院校教师了解仿生机器人基本知识和关键技术的参考资料和辅助读物。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代仿生机器人设计/罗庆生, 韩宝玲主编. —北京: 电子工业出版社, 2008. 3  
ISBN 978-7-121-05799-1

I. 现… II. ①罗…②韩… III. 仿生机器人—设计 IV. TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第005704号

策划编辑: 徐 静

责任编辑: 钟永刚

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14 字数: 332千字

印 次: 2008年3月第1次印刷

定 价: 30.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。



# 前 言

放眼当今世界，机器人的研究、开发与制造水平标志着一个国家或一个地区的综合科技实力。荟萃着世界高、精、尖科学技术成果及理念在内的新型机器人体现了一个国家的尖端科技水平。如今，随着机械制造技术、信息处理技术、计算机技术、传感器技术、智能控制理论的飞速发展，机器人的研究已经从结构环境下的定点作业中走了出来，正在向航空航天、星际探索、抢险救灾、军事侦察等非结构环境下的自主作业方向发展。

众所周知，自然界中的各种生物通过物竞天择和长期进化，已对外界环境产生了极强的适应性，在能量转换、运动控制、姿态调节、信息处理和方位辨别等方面还表现出了高度的合理性，已日益成为人类开发先进技术装备的参照物，仿生机器人便是仿生学与机器人学相结合的产物。相比而言，仿生多足机器人具有其他类型机器人所不具备的一些优点，如其具有较强的运动灵活性和较高的功能适用性、较好的越障和避障能力，以及其运动系统可以实现自主隔振等，因此仿生多足机器人及其相关技术的研究与开发已经成为当前机器人技术领域引人关注的热点。

作者及其学术团队从事仿生机器人技术研究已有多多年，在仿生机器人方面有所建树。本书是作者在吸收和借鉴国内外相关学术理念的基础上结合作者多年的研究经验及工作成果编著而成的，代表着作者对仿生机器人相关技术的认识与把握。本书涉及的知识面较广，既有仿生机器人基础理论、相关知识的阐述，也有国内外仿生机器人最新研究工作的介绍，还有仿生六足机器人研发和应用的实例，其宗旨是将仿生机器人的基础理论、关键技术与仿生机器人的产品开发、实际应用紧密结合在一起，使读者对仿生机器人的研发过程和关键技术能有系统、清晰、全面、深刻的认识。本书在论述过程中着力突出仿生六足机器人设计的新理念、研发的新技术和实验的新方法，以期对从事相关工作的人们能够有所帮助和启发。

本书共分 13 章，罗庆生教授、韩宝玲教授担任主编，赵小川博士、张辉博士担任副主编，徐嘉、黄麟、王秋丽、杨立辉、潘登、毛新、郭少晶、闰尚彬、武坤、张杨、汪强、侯保江、高彩等博士和硕士参与了部分章节的撰写和相关资料的整理工作。

仿生机器人的研究热潮风起云涌，仿生机器人的研究成果层出不穷。笔者所开展的工作及其成果只是沧海一粟。要想使我国的仿生机器人研究水平赶上和超过世界先进水平还有大量的工作要做，还有漫长的道路要走，希望本书的出版发行能起到抛砖引玉的作用，同时也希望广大专家、读者对本书的谬误之处不吝赐教。

最后，向支持笔者开展仿生机器人研究的国家某部委重点预研基金项目管理办公室以及有关方面的领导、专家和同事表示衷心的感谢。

作 者

# 符号和缩略词说明

- $p$ —运动副数;
- $f_i$ —第  $i$  个运动副具有的自由度数;
- $L$ —独立封闭环数;
- $\lambda_i$ —第  $i$  个独立封闭环所具有的封闭约束条件数;
- $f_p$ —消极自由度数;
- $F_1$ —局部自由度数;
- $\lambda_0$ —重复约束数;
- $L$ —机器人腿的长度;
- $S_x$ —沿  $X$  轴的位移量;
- $S_y$ —沿  $Y$  轴的位移量;
- $S_z$ —沿  $Z$  轴的位移量;
- $\phi_x$ —沿  $X$  轴的角位移量;
- $\phi_y$ —沿  $Y$  轴的角位移量;
- $\phi_z$ —沿  $Z$  轴的角位移量;
- $FB$ —灵活性;
- $Q$ —机器人系统能耗;
- $W$ —机器人整体质量;
- $S$ —路程;
- $P$ —平均功率;
- $V$ —机器人躯体平均速度;
- $\{\Phi\}^k$ —第  $k$  条腿上各关节转速的六维列向量;
- $[\mathbf{G}_\phi^p]^{-1(k)}$ —第  $k$  条腿上关节速度对躯体中心的一阶影响系数矩阵;
- $\{V_p\}$ —躯体中心的速度向量;
- $q$ —广义坐标;
- $\{T_Q\}$ —相应选取的 6 个输入力矩;
- $[\mathbf{g}_q^s]$ — $3n-6$  个非广义坐标的运动对 6 个广义坐标的一阶影响系数矩阵;
- $\{F_p\}$ —所有作用在中央构件上的合力及合力矩;
- $[\mathbf{G}_q^p]$ —躯体  $P$  对广义坐标  $q$  的一阶影响系数矩阵;
- $[\Phi_s^2]$ —对应  $3n$  个输入关节的关节转动;
- $T_i^k$ —第  $k$  条腿第  $i$  个驱动器的关节力矩;
- $\Phi_i^k$ —第  $k$  条腿第  $i$  个驱动器的瞬时角速度;
- $O_i$ —关节轴线  $S_i$  与相邻关节间公垂线  $a_{i-1,i}$  的交点;
- $\theta_1$ —根关节的转角;
- $\theta_2$ —髌关节的转角;
- $\theta_3$ —膝关节的转角;

$\lambda$ —基节两部分之间的夹角;

$l_1$ —基节的长度;

$l_2$ —股节的长度;

$l_3$ —胫节的长度;

$\theta_i$ —相邻腿节间的夹角;

$a_i$ —腿节长度;

$\alpha_i$ —关节轴线的扭角;

$d_i$ —公垂线间的距离;

$X_p, Y_p, Z_p$ —机器人躯体坐标系原点在大地坐标系中的坐标;

$\theta, \phi, \psi$ —绕三轴正向的转角;

$\dot{x}$ —足端空间的广义速度;

$\dot{q}$ —关节速度;

$J(q)$ —雅可比矩阵;

$\dot{\phi}$ —单分支中各个转角的速度;

$[G_\phi^h]$ —机器人躯体转动对分支运动副变量的一阶偏导影响系数矩阵;

$[G_\phi^p]$ —机器人躯体移动对分支运动副变量的一阶影响系数矩阵;

$\vec{P} - \vec{R}_j$ —从第  $j$  坐标原点到  $P$  点的矢量;

$\vec{P}$ —躯体中心在基础坐标系中的位置矢量;

$\vec{R}_j$ — $j$  坐标系与基础坐标系两原点之间的距离矢量;

$[G_\phi^H]$ —机器人躯体对分支的综合影响系数矩阵;

$r$ —分支并联机构的分支序号;

$\dot{\phi}_\alpha^{(a)}$ —输入角速度;

$[G_\phi^H]_\alpha^{-1(a)}$ —第  $a$  分支的逆矩阵的第  $\alpha$  行;

$P_i$ —一个周期内处于摆动相各腿的瞬时功率;

$\tau$ —关节力矩;

$\dot{\theta}$ —相应关节的角速度;

$T_y$ —1/2 行走周期;

$J_{Li}$ —与第  $i$  根连杆重心位置平移速度相关的雅可比矩阵;

$J_{Ai}$ —与第  $i$  根连杆重心位置转动速度相关的雅可比矩阵;

$z_{i-1}$ —第  $i-1$  根轴的方向;

$p_{i-1,0}$ —第  $i$  根轴中心点在参考坐标系中的位置;

$T_q^i$ —系统惯性力折算到基坐标系上的力矩;

$T_q^W$ —仿生六足机器人系统的外力作用引起的等效力矩;

$T_q^e$ —仿生六足机器人系统电机的驱动力矩;

$T_q^p$ —机器人躯体上的 6 维作用力对应的 6 个等效力矩;

$[G_q^p]^T$ —机器人躯体对 6 个广义坐标的一阶影响系数矩阵;

$f_{xi}$ —第  $i$  条腿的足端与地面  $x$  方向的摩擦力;

$f_{yi}$ —第  $i$  条腿的足端与地面  $y$  方向的摩擦力;





$f_{zi}$ —第  $i$  条腿的足端与地面  $z$  方向的压力;  
 $\mu$ —足端与地面之间的摩擦力;  
 $p(t)$ —随时间变化机器人足端点在空间中所经过的一系列点的坐标;  
 $c_i$ — $t$  的多项式的系数矢量;  
 $S_L$ —纵向稳定裕量;  
 $S_{Lf}$ —前向稳定裕量;  
 $S_{Lr}$ —后向稳定裕量;  
 $S_G$ —一般稳定裕量;  
 $L_0$ —机器人腿在水平方向上的投影长度;  
 $\lambda$ —步长;  
 $H_0$ —初始姿态时机器人的质心高度;  
 $\Delta h$ —机器人能适应的不平地面的高度;  
 $\nu$ —接触点的滑擦速度;  
 $\nu_s$ —黏质转换速度;  
 $\nu_d$ —摩擦转换速度;  
 $\mu_s$ —静态摩擦系数;  
 $\mu_d$ —动态摩擦系数;  
 ${}^k x_i$ —第  $k$  个子网的第  $i$  个输入;  
 ${}^k m_{ij}$ —伸缩系数;  
 ${}^k n_{ij}$ —平移系数;  
 ${}^k \omega_{ij}^{(3)}$ —网络权值;  
 $\omega_{kl}^{(4)}$ —网络权值;  
 $\hat{y}_l$ —样本输出, 即网络期望输出;  
 $y_l$ —网络的实际输出;  
 $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ 、 $\eta_4$ —学习率;  
 $\mathbf{X}(t)$ —系统状态矢量;  
 $\mathbf{F}(t)$ —系统状态矩阵;  
 $\mathbf{G}(t)$ —系统动态噪声矩阵;  
 $\mathbf{W}(t)$ —系统过程白噪声矢量;  
 $\mathbf{Z}(t)$ —系统量测矢量;  
 $\mathbf{H}(t)$ —量测矩阵;  
 $\mathbf{V}(t)$ —系统量测噪声矢量;  
 $T$ —迭代周期;  
 $\delta_L$ —经度误差;  
 $\delta_\lambda$ —纬度误差;  
 $\delta v_E$ —正东方向上移动速度的误差;  
 $\delta v_N$ —正北方向上移动速度的误差;  
 $\phi_E$ 、 $\phi_N$ 、 $\phi_U$ —东、北、天方向的航向姿态角误差;  
 $\varepsilon_{rx}$ 、 $\varepsilon_{ry}$ 、 $\varepsilon_{rz}$ —随机漂移;

- $\nabla_x$ 、 $\nabla_y$ 、 $\nabla_z$ —加速度计零偏;
- $w_{gx}$ 、 $w_{gy}$ 、 $w_{gz}$ —陀螺漂移白噪声;
- $w_{bx}$ 、 $w_{by}$ 、 $w_{bz}$ —随机漂移马尔科夫过程白噪声;
- $w_{\alpha_x}$ 、 $w_{\alpha_y}$ 、 $w_{\alpha_z}$ —角速度计零偏一阶马尔科夫过程白噪声;
- $N_N$ 、 $N_E$ 、 $N_h$ —GPS 接收机沿东、北、天方向的位置误差;
- $M_E$ 、 $M_N$ 、 $M_U$ —GPS 接收机的测速误差项在东、北、天三根轴上的分量;
- $P_{busy}$ —系统组件处于工作状态时的能耗;
- $P_{idle}$ —系统组件处于空闲状态时的能耗;
- $t_{idle}$ —系统组件的空闲时间;
- $E_c$ —系统组件由空闲状态到断电关闭时的能量消耗;
- $E_o$ —系统组件由关闭到唤醒时的能量消耗;
- $g(i, j)$ —模板的像素灰度值;
- $f(i, j)$ —检测图像的像素灰度值。

# 目 录

符号和缩略词说明 .....	IX
第1章 绪论 .....	1
1.1 机器人及其相关技术的发展 .....	1
1.2 仿生机器人的概念、原理及研究热点 .....	3
1.3 仿生多足机器人研究现状与发展趋势 .....	6
1.4 仿生六足机器人研发流程与关键技术 .....	12
本章参考文献 .....	14
第2章 机器人学与仿生学 .....	15
2.1 机器人学的基础理论 .....	15
2.1.1 机器人的基本定义 .....	15
2.1.2 机器人的有关概念 .....	16
2.2 仿生学概述 .....	16
2.2.1 仿生学的主要研究方法 .....	17
2.2.2 仿生学的主要研究内容 .....	17
2.2.3 机器人仿生学 .....	18
2.3 典型的六足纲昆虫结构特点与机能特性 .....	20
2.3.1 昆虫与昆虫纲 .....	20
2.3.2 昆虫的结构特点 .....	21
2.3.3 昆虫的一般习性 .....	24
2.3.4 常见昆虫简介 .....	27
2.3.5 昆虫与仿生学 .....	30
本章参考文献 .....	32
第3章 仿生机器人模拟对象观测实验 .....	33
3.1 蚂蚁步态特性和运动机理的实验研究 .....	33
3.1.1 实验对象的选择 .....	33
3.1.2 实验平台的搭建 .....	34
3.1.3 实验方案的实施 .....	36
3.2 弓背蚁体态结构观测实验研究 .....	37
3.3 弓背蚁运动特性观测实验研究 .....	40
本章参考文献 .....	47
第4章 仿生六足机器人结构设计技术 .....	48
4.1 仿生六足机器人机构建模 .....	48
4.2 仿生六足机器人本体设计 .....	49
4.3 仿生六足机器人腿部设计 .....	50



4.3.1	腿部参数确定原则	50
4.3.2	腿部驱动系统设计	51
4.4	仿生六足机器人结构优化	56
4.4.1	机构参数对机器人工作空间的影响	57
4.4.2	机构参数对机器人灵活度的影响	59
4.4.3	机构参数对机器人轻动性的影响	61
	本章参考文献	65
<b>第5章</b>	<b>仿生六足机器人运动学分析</b>	66
5.1	仿生六足机器人位置分析	66
5.1.1	摆动相各腿位置分析	66
5.1.2	支撑相各腿位置分析	68
5.2	仿生六足机器人运动分析	70
5.2.1	摆动相各腿速度分析	70
5.2.2	支撑相各腿速度分析	71
5.2.3	摆动相各腿加速度分析	73
5.3	仿生六足机器人能耗分析	74
5.3.1	能耗指标	74
5.3.2	机构参数对能耗的影响	74
5.3.3	运动参数对能耗的影响	77
	本章参考文献	80
<b>第6章</b>	<b>仿生六足机器人动力学分析</b>	81
6.1	机器人动力学简述	81
6.2	仿生六足机器人抬起腿动力学分析	82
6.3	仿生六足机器人支撑腿动力学分析	85
6.4	仿生六足机器人足端摩擦力分析	87
6.4.1	足端摩擦的约束情况分析	87
6.4.2	足端摩擦的线性规划方法	88
6.5	仿生六足机器人非线性系统摩擦分析	89
6.5.1	机器人关节驱动电机轴系力矩平衡方程	90
6.5.2	机器人关节驱动电机轴系摩擦力矩分析	90
6.6	仿生六足机器人系统低速爬行现象分析	91
6.6.1	低速爬行现象的理论基础	91
6.6.2	低速爬行现象的改进措施	92
	本章参考文献	94
<b>第7章</b>	<b>仿生六足机器人轨迹规划技术</b>	95
7.1	仿生六足机器人单足轨迹规划	95
7.1.1	机器人足端点轨迹规划的基本概念	95
7.1.2	机器人足端点轨迹规划的基本方法	95
7.1.3	摆动相的足端轨迹规划	96
7.1.4	支撑相的足端轨迹规划	98

7.1.5	机器人足端点二次轨迹规划	104
7.2	仿生多足机器人稳定性原理	105
7.3	仿生六足机器人静态步态规划	107
7.3.1	重心固定的静态步态规划	107
7.3.2	重心随动的静态步态规划	108
	本章参考文献	112
<b>第8章</b>	<b>仿生六足机器人虚拟样机技术</b>	<b>113</b>
8.1	虚拟样机技术的基本概念	113
8.1.1	虚拟样机技术的基础	113
8.1.2	虚拟样机制造的过程	114
8.1.3	虚拟样机技术的组成	115
8.1.4	虚拟样机技术的优点	115
8.1.5	虚拟样机技术的典型应用	116
8.2	基于虚拟样机技术的机器人机构研究	116
8.2.1	仿生六足机器人机构研究的主要内容	116
8.2.2	仿生六足机器人机构仿真研究的主要流程	117
8.3	仿生六足机器人运动学仿真	119
8.3.1	虚拟样机建模仿真工具简介	120
8.3.2	仿生六足机器人运动仿真模型构建	121
8.3.3	仿生六足机器人原地运动仿真	123
8.3.4	仿生六足机器人爬行仿真	124
8.3.5	运动参数对仿生六足机器人运动性能的影响	125
	本章参考文献	129
<b>第9章</b>	<b>仿生六足机器人运动控制技术</b>	<b>130</b>
9.1	机器人控制技术概述	130
9.2	仿生六足机器人控制系统	130
9.2.1	仿生六足机器人控制系统基本架构	130
9.2.2	仿生六足机器人控制系统总体方案	132
9.2.3	仿生六足机器人控制系统硬件设计	133
9.2.4	仿生六足机器人控制系统软件设计	139
9.3	仿生六足机器人控制系统实验	144
9.4	仿生六足机器人智能控制的研究与探索	147
9.4.1	仿生六足机器人关节控制模块被控模型	147
9.4.2	模糊小波神经网络(FWN)控制	148
9.4.3	FWN训练方法	150
9.4.4	仿生六足机器人关节控制器仿真实验	151
	本章参考文献	154
<b>第10章</b>	<b>仿生六足机器人传感探测技术</b>	<b>155</b>
10.1	传感器与多信息融合	155
10.2	仿生六足机器人感测系统	160

10.3	基于超声波和红外线传感器复合阵列的实时避障技术	160
10.3.1	超声波和红外线传感器复合探测阵列设计	160
10.3.2	仿生六足机器人避障控制策略研究	161
10.3.3	仿真实验与分析	165
10.4	仿生六足机器人导航系统设计与研究	166
10.4.1	基于 GPS/INS 的组合导航系统	166
10.4.2	集中式开环校正组合方式	167
10.4.3	卡尔曼滤波理论	167
10.4.4	组合导航系统数学建模	168
10.4.5	仿真实验与分析	171
	本章参考文献	173
<b>第 11 章</b>	<b>仿生六足机器人能源管理技术</b>	175
11.1	动态电源管理技术的研究	175
11.1.1	固定超时算法	175
11.2	电源管理模块的设计	176
11.2.1	电源管理模块的硬件设计	176
11.2.2	地址译码电路的设计	177
11.2.3	驱动电路的冗余设计	177
11.3	Simulink/Stateflow 仿真软件的应用	178
11.3.1	Stateflow 基础	178
11.4	仿生六足机器人传感器系统节能设计	180
11.4.1	传感器系统电源管理过程的动态建模	181
11.4.2	仿真结果	185
	本章参考文献	186
<b>第 12 章</b>	<b>仿生六足机器人视觉系统技术</b>	188
12.1	机器人视觉的发展及研究现状	188
12.2	机器人视觉仿生	192
12.3	机器人视觉的基本原理与关键技术	197
12.4	仿生六足机器人视觉系统的硬件组成	199
12.5	仿生六足机器人目标识别算法研究	201
12.5.1	基于小波提升的目标识别的算法原理	201
12.5.2	互相关的模板匹配	203
12.5.3	小波提升算法	203
12.5.4	多尺度识别与模板更新	204
12.5.5	实验结果与分析	204
	本章参考文献	206
<b>第 13 章</b>	<b>总结与展望</b>	207



# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 机器人及其相关技术的发展<sup>[1][2]</sup>

从使用火种开始，人类文明的历史也就是人类认识和改造自然界包括人类自身在内的历史。在文明火种传承、延续、发展的历程中，为了突破自身能力的局限，人类学会了制造和使用工具，从而使自身肢体与感官的功能得到了拓展和延伸。到了近代，人类制造出了以电子计算机为代表的各种信息处理和计算的工具有，进一步拓展和延伸了人类大脑的功能。机器人的诞生和其相关技术的发展，更是大大提升了人类的自身能力，成为 20 世纪人类科学技术的重大成就之一。微软公司的创始人比尔·盖茨曾向世界预言：30 年后，机器人将像计算机一样迈入千家万户，彻底改变人类的生活方式。

人类对机器人的憧憬可以追溯到三千多年前。长久以来，人类一直渴望制造一种像人一样的机器，以便将人类从繁杂的劳动中解脱出来。我国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中记载的能抓老鼠的自动木人、古希腊诗人 Homeros 在《伊利亚特》中描绘的用黄金制造的美丽侍女以及希腊神话《阿鲁哥历险船》中的青铜巨人 Talos，无一不体现着机器人的特征与功能。

我国东汉时期（公元 25—220 年）著名科学家张衡发明的指南车（如图 1-1 所示），是世界上最早的机器人雏形。1774 年，瑞士钟表匠德罗罗斯父子制造出了可由凸轮控制、弹簧驱动的写字偶人、绘图偶人和弹琴偶人；同年，法国人杰夸特设计出了机械式可编程织布机；1893 年，加拿大人摩尔设计出了一种以蒸汽为动力、可平稳行走的步行装置。这些都标志着人类在从机器人梦想到现实这一漫长道路上取得的实质性进步。



图 1-1 指南车

图 1-2 Unimate 工业机器人

1920 年，捷克作家卡雷尔·佩克（Karel Capek）在其幻想情节剧《罗萨姆的万能机器人》中描述了一个名为 R. U. R 的工厂，为将人类从繁重而乏味的工作中解放出来，制造出一种与人类相似，但能不知疲倦工作的机器奴仆，取名为 ROBOTA。Robot（机器



人)一词由此演化而来。

现代机器人的研究始于20世纪中期。1954年,美国人乔治·德沃尔(George C. D)研制出第一台电子可编程关节传送装置,它使用示教再现控制方式,取得了很好的控制效果,也因此促进该技术得到飞速发展。随后应运而生的数控技术和机械手,将工业机器人推上了舞台,成为现代加工制造业的中坚力量。

1960年,美国Unimation公司根据Devol的专利技术研制出第一台工业机器人样机,并定型生产Unimate工业机器人,如图1-2所示。该机器人将数控机床的重放特性与Roymond Goetz研制的遥控机械手的伺服控制能力结合起来,具备了优良的操控性能。1962年,美国General Motors公司在铸件生产线上安装了第一台Unimate工业机器人,标志着第一代机器人的正式诞生。

在此后的五十多年里,机器人技术取得了突飞猛进的发展,表1-1是近代机器人发展的重大事件时间表,其发展历程大致经历了三个阶段。

**第一阶段:示教再现型机器人。**该类型机器人是第一代机器人,没有装配任何传感器,对环境没有感知能力。机器人的作业路径、运动参数需要操作人员示教或通过编程设定,机器人重复再现示教的内容。目前商业化、实用化的机器人大多是此类机器人。

**第二阶段:感觉型机器人。**此种机器人配备了简单的内、外部传感器,能感知自身运行的速度、位置和位姿等物理量,并以这些信息的反馈构成闭环控制,配有视觉、力觉等简单的外部传感器,因而具有部分适应外部环境的能力。

**第三阶段:智能型机器人。**该类型机器人具有由多种内、外部传感器组成的感觉系统,不仅可以感知内部关节的运行速度、加速度等参数,还可通过外部传感器对外部环境信息进行感知、提取、处理,并做出适当的决策,能够在结构或半结构环境中自主地完成某项任务。目前智能化机器人尚处于研究和发展阶段。

表1-1 近代机器人发展的重大事件时间表

时间	事件
1954年	George Devol 开发出第一台可编程机器人;
1960年	Unimation 公司推出第一台工业机器人;
1968年	第一台智能机器人 Shakey 在斯坦福研究所(SRI)诞生;
1970年	ETL 公司发明带视觉的自适应机器人;
1978年	美国推出通用工业机器人 PUMA, 这标志着工业机器人技术已经完全成熟;
1984年	机器人 Helpmate 问世, 该机器人能在医院里为病人送饭、送药、送邮件;
1998年	丹麦乐高公司推出机器人(Mind-storms)套件;
2002年	iRobot 公司推出吸尘器机器人 Roomba, 该机器人是世界上销量最大的家用机器人;
2006年	微软公司推出 Microsoft Robotics Studio, 机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显, 比尔·盖茨预言, 家用机器人很快将席卷全球。

机器人的制造水平标志着一个国家的综合科技实力,代表着高精尖科技的新型机器人体现了一个国家的尖端技术成果,现在,全世界的机器人“大军”已经非常庞大,其“兵种”也日益繁多。机器人及其相关技术呈现出以下发展趋势:



### 1. 机器人应用范围遍及工业、娱乐、科技和国防各个领域

随着科技的发展,国民经济建设各个领域都对机器人有不同程度的需求。据统计,机器人应用最多的领域依次是家用电器制造、汽车制造、塑料成型、通用机械制造和金属加工等部门。目前,美国有35%的机器人用于汽车工业,今后将逐渐向纤维、食品、电子和家用产品等领域发展。在全面调查的基础上,日本机器人工业协会公布了233个应用机器人的新领域。其中涉及农业水产、土木建筑、交通运输、矿产开采、星球探测、医疗娱乐等行业的发展。可见机器人的应用朝着多元化、多领域、多用途的方向发展。

### 2. 机器人朝着智能化发展

从机器人诞生至今,机器人技术的研究已从示教再现型机器人向具有感觉功能的智能机器人发展,机器人的研究应用已从传统的制造领域向非制造领域扩展。尤其是进入20世纪80年代以后,机器人技术已经形成了集机构学、电子技术、控制理论、计算机技术、传感器技术、人工智能等多学科于一体的完整体系。近年来随着日本仿人机器人ASIMO、美国火星探测器等项目的研制成功,智能机器人的研究和发展,特别是能够代替人在危险、恶劣等环境中从事特殊任务的特种智能机器人的研究和发展,成为各国政府制定高技术计划的一个重要内容,支撑智能机器人的关键技术——感知与智能控制技术已成为机器人研究领域的热点之一。

### 3. 机器人朝着仿生方向发展

自然界中的各种生物通过物竞天择和长期进化,已对外界环境产生了极强的适应性,在能量转换、运动控制、姿态调节、信息处理和方位辨别等方面还表现出了高度的合理性,已日益成为人类开发先进技术装备的参照物,仿生机器人便是仿生学与机器人学相结合的产物。在2004年IEEE机器人学与仿生学国际学术会议上,与会的机器人学专家就指出:“模仿生物的身体结构和功能,从事生物特点工作的仿生机器人,有望代替传统的工业机器人,成为未来机器人领域的发展方向”。

## 1.2 仿生机器人的概念、原理及研究热点<sup>[3][4]</sup>

机器人的研究已经从结构环境下的定点作业中走了出来,正在向航空航天、星际探索、抢险救灾、军事侦察攻击、地下管道检测、疾病检查治疗等非结构环境下的自主作业方向发展。未来的机器人将在人类不能或难以到达的未知环境中为人类工作,人们要求机器人不仅适应原来结构化的、已知的环境,更要适应未来发展中的非结构化的、未知的环境。除了传统的设计方法,人们也把目光对准了生物界,力求从丰富多彩的生物身上获得灵感,将它们的运动机理和行为方式运用到对机器人的运动和控制中,从而使得机器人既具有感觉又具有某些思维功能,并由这些功能控制动作,具有与生物或者人类相类似的智能。将仿生学原理应用到工程系统的研究与设计中,对当今日益发展的机器人科学起到了巨大的推动作用。

仿生机器人就是通过对生物的性能和行为进行模仿,将其结构特征、运动机理、行为





方式等应用于机器人的设计中，研制具有某些自然界生物的外部形状或机能的机器人系统。仿生机器人的诞生是仿生技术与机器人技术融合的结果，涉及仿生学、力学、机构学、控制学、计算科学、信息科学、微电子学、传感技术、人工智能等诸多学科，从而使机器人既具有传统机器人所具有的优点，又将生物运动机理和行为方式作为理论模型运用于机器人的运动控制，借大自然千万年来“自然选择”的造化之手来提高机器人的运动能力和效率，使其突破原有理论的藩篱，大大提高了机器人的运动特性和工作效率。目前，仿生机器人已经成为机器人研究领域的热点之一。

仿生机器人的类型很多，按照模仿特性分类，大致可以分为仿人型机器人和仿非人生物型机器人两大类，如图 1-3 所示。仿人型机器人是目前机器人技术的前沿课题和具有挑战性的技术难题之一，主要是研究多自由度的关节型机器人操作臂、多指灵巧手的组合及双足步行机器人机构；仿非人生物机器人主要是研究多足机器人、蛇形机器人、水下机器人及飞行机器人等。

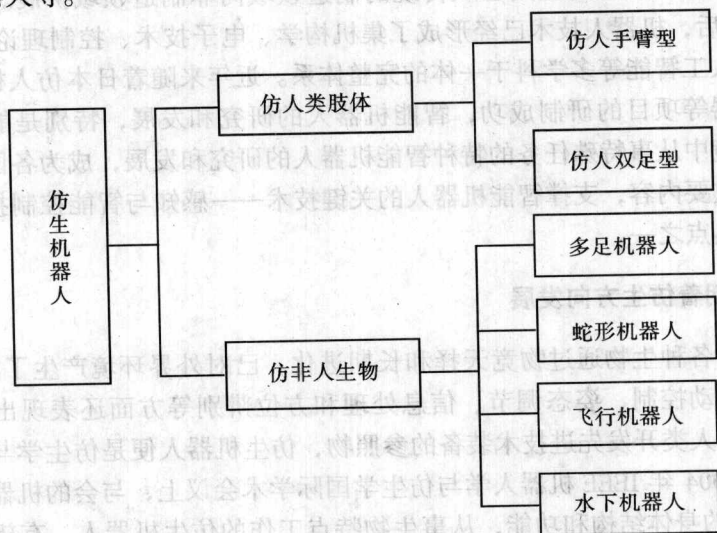


图 1-3 仿生机器人的分类

图 1-4 展示了几款典型的仿生机器人。其中，ASIMO（如图 1-4（a）所示）是由日本本田公司研制的仿人机器人。ASIMO 身高 1.2m，体重 52kg，最高行走速度是 1.6km/h，可以完成行走、下台阶、弯腰等各项动作，还可以随着音乐翩翩起舞。图 1-4（b）展示的是由美国国防部研制的机器蝇，该机器人身高 1cm，质量为 100mg。机器蝇的翅膀是由一种类似玻璃纸的原料——聚酰亚胺做成的，长 10mm，宽 3mm，厚 5 $\mu$ m。据美国国防部透露，机器蝇的主要用途为军事侦察。图 1-4（c）所示为我国国防科技大学研发的机器蛇，该机器蛇长 1.2m，直径 0.06m，质量为 1.8kg，最大前进速度可达 20m/min。安装在机器蛇头部的视频监控器可将机器蛇运动前方景象实时传输到后方的电脑中，科研人员则可根据实时传输的图像观察运动前方的情景，不断向机器蛇发出各种遥控指令。图 1-4（d）所示 SPC-II 仿生机器鱼是由北京航空航天大学研制成功的。该机器鱼最高时速可达 1.5m/s，能够在水下连续工作 2~3 小时，曾辅助考古专家对福建郑成功古战舰沉船遗址进行了水下探测。