



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

仿人机器人的 设计与制作

罗庆生 罗 霄 蒋建锋 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

仿人机器人的设计与制作

罗庆生 罗 霄 蒋建锋 ● 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

仿人机器人的设计与制作/罗庆生, 罗霄, 蒋建锋编著. —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 - 7266 - 7

I. ①仿… II. ①罗… ②罗… ③蒋… III. ①仿人智能控制 - 智能机器人 - 设计 - 青少年读物②仿人智能控制 - 智能机器人 - 制作 - 青少年读物 IV. ①TP242. 6 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 142823 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 / 14.5

字 数 / 275 千字

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

定 价 / 58.00 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

第 1 章	我能像人一样跳舞	1
1.1	给你讲讲我的历史	1
1.1.1	仿生学和仿生机器人	1
1.1.2	仿人机器人	4
1.2	你对人类的行走真的了解吗	9
1.2.1	人的运动规律	9
1.2.2	影响人动作的器官	11
1.2.3	人体重心	16
1.3	我的名字叫小黑侠	17
第 2 章	我有强壮的肌肉	19
2.1	机器人常用驱动器件	19
2.1.1	直流无刷电机	20
2.1.2	步进电机	27
2.1.3	伺服电机	32
2.1.4	舵机	38
2.2	为我选择合适的舵机	41
2.2.1	舵机的性能参数	41
2.2.2	舵机故障的判断准则	43

2.3 提高篇：舵机的驱动与控制	45
------------------------	----

第3章 我有棒棒的身体 48

3.1 棒棒身躯的基石——设计工具	48
3.1.1 三维实体造型的基本内容	48
3.1.2 三维实体造型的基本软件	49
3.1.3 三维实体造型的基本步骤	52
3.2 我的细胞——制作材料	64
3.2.1 塑料类材料	64
3.2.2 木材类材料	67
3.3 我的维护医生——制作工具	69
3.3.1 五金工具	70
3.3.2 切割设备	71
3.3.3 3D 打印机	75
3.3.4 测量工具	81
3.4 提高篇：3D 打印机的使用	89

第4章 我有充沛的能量 93

4.1 机器人电源系统简述	93
4.1.1 电源系统的基本组成	93
4.1.2 电源系统的工作机理	94
4.1.3 电源系统的主要作用	94
4.2 锂离子电池	95
4.2.1 锂离子电池简介	95
4.2.2 锂离子电池的工作原理	99
4.2.3 锂离子电池的使用特点	100
4.2.4 锂离子电池的充放电特性	101
4.3 锂聚合物电池	103
4.3.1 锂聚合物电池简介	103
4.3.2 锂聚合物电池的工作原理	104
4.3.3 锂聚合物电池的使用特点	105
4.3.4 锂聚合物电池的充放电特性	106
4.4 提高篇：镍氢电池	106
4.4.1 镍氢电池的工作原理	108
4.4.2 镍氢电池的使用特点	108

4.4.3	镍氢电池的充放电特性	109
第5章	我有灵敏的感官	111
5.1	我的感觉系统简述	112
5.1.1	传感器的定义和分类	112
5.1.2	传感器的基本组成	114
5.1.3	传感器的主要作用	114
5.1.4	传感器的发展特点	115
5.1.5	传感器的主要特性	115
5.1.6	传感器的选型原则	116
5.1.7	环境对传感器的影响	118
5.2	我的视觉系统概述	118
5.2.1	机器视觉系统的基本组成	118
5.2.2	机器视觉系统的主要作用与工作机理	122
5.3	我的眼球——视觉传感器	124
5.3.1	CCD 与 CMOS 的工作原理	124
5.3.2	CCD 与 CMOS 的比较	126
5.4	我可以知远近——测距传感器	127
5.4.1	测距传感器的分类	127
5.4.2	测距传感器的工作原理	128
5.5	我的皮肤——触觉传感器	132
5.5.1	触觉传感器的分类	132
5.5.2	触觉传感器的工作原理	132
5.6	我的运动平衡——姿态传感器	136
5.6.1	姿态传感器的分类	136
5.6.2	姿态传感器的工作原理	137
5.7	我的嘴巴和耳朵	138
5.7.1	我的嘴巴——语音芯片	138
5.7.2	我的耳朵——语音识别	143
5.8	提高篇：语音识别技术的应用	145
5.8.1	采用 DSP 实现语音识别	145
5.8.2	语音控制机器人	146
第6章	快把我制作出来吧	149
6.1	如何把我制作出来	149

6.2	组装我的躯干	152
6.3	组装我的上肢	160
6.4	组装我的腿部	166
6.5	拼到一起看一看	174
6.6	提高篇：机器人软件编程	178
6.6.1	机器人软件编译环境	178
6.6.2	C语言	183

第7章 请你教我思考 187

7.1	我的大脑运行原理	188
7.1.1	机器人控制系统的基本组成	188
7.1.2	机器人控制系统的工作机理	189
7.1.3	机器人控制系统的主要作用	189
7.2	大脑的神经元——单片机	190
7.2.1	单片机的工作原理	190
7.2.2	单片机系统与计算机的区别	191
7.2.3	单片机的驱动外设	192
7.2.4	单片机的编程语言	192
7.3	大脑的左半球——DSP控制技术	194
7.3.1	DSP简介	194
7.3.2	DSP的特点	194
7.3.3	DSP的驱动外设	195
7.3.4	DSP的编程语言	195
7.4	大脑的右半球——ARM控制技术	196
7.4.1	ARM简介	196
7.4.2	ARM的特点	197
7.4.3	ARM的驱动外设	197
7.4.4	ARM的编程语言	198
7.5	提高篇：设计我的舞蹈动作	198
7.5.1	小型仿人机器人的运动原理	198
7.5.2	小型仿人机器人动作程序的编写	200
7.5.3	调整姿态，让我动起来	202

参考文献 205



第 1 章

我能像人一样跳舞

1.1 给你讲讲我的历史

1.1.1 仿生学和仿生机器人

当今世界上存在的千千万万种生物都是经过亿万年的适应、进化、发展而来的，这使得生物体的某些构造巧夺天工，某些特性趋于完美，某些本领令人赞叹，许多生物具有了最合理、最优化的结构形式、运动特点，以及出类拔萃的适应性和生存力^[1]。自古以来，丰富多彩的自然界不断激发人类的探索欲望，一直是人类产生各种技术思想和发明创造灵感不可替代、取之不竭的知识宝库和学习源泉。道法自然，向自然界学习，采用仿生学原理，设计、研制新型的机器、设备、材料和完整的仿生系统，是近年来快速发展的研究领域之一。

仿生学作为一门独立学科于 1960 年 9 月正式诞生，1963 年我国将“Bionics”译为“仿生学”，它是指模仿生物建造技术装置的科学，主要研究生物体结构、功能和工作原理，并将这些原理移植于工程技术之中，用来发明性能优越的仪器、装置，创造新技术^[2]。仿生学的问世开辟了独特的科学技术发展道路，即向生物界索取工程技术解决方案蓝图的道路，它大大开阔了人们的眼界，显示了极强的生命力。

1960 年，在美国第一届仿生学会议上，“仿生学”一词被提出，从此仿生学在机械方面的应用就再未停止过，并融合发展成为仿生机械学^[3]。由于能设计出在结构、功能、材料等各方面更加合理的机械系统，仿生机械学越来越受到人们的重视。

仿生学研究的内容包罗万象，主要包括力学仿生、分子仿生、信息与控制仿生、能量仿生等。其中，力学仿生主要研究生物的宏观结构性能，包括生物的静力学特性和动力学特性；分子仿生主要研究生物的微观特性，包括生物体内酶的催化作用、生物膜的选择性等；信息与控制仿生主要研究生物对信息的处理过程，包括生物的感觉器官、神经元与神经网络等；能量仿生主要是对生物体内能量转换过程和新陈代谢进行研究，包括生物肌肉的能量转换、生物器官的发光等。仿生学的研究一般可以分为三步：对生物原型和生物机理进行研究；将生物模型用数学的方法进行表示；根据数学模型制造出可在工程技术上进行试验的实物模型^[4]。

仿生机器人是仿生学与机器人技术结合的产物。从机器人的角度来看，仿生机器人是机器人技术发展的高级阶段。生物特性为机器人的设计提供了许多有益的参考，使得机器人可以从生物体上学习诸多的东西，例如自适应性、鲁棒性、运动多样性和灵活性等一系列良好的性能。仿生机器人按照其工作环境可分为陆面仿生机器人、空中仿生机器人和水中仿生机器人三种。此外，还有一些研究机构研究出水陆两栖机器人、水空两栖机器人等具有综合用途的仿生机器人。仿生机器人同时具有生物和机器人的特点，已经逐渐在反恐防爆、探索太空、抢险救灾等不适合由人来承担任务的环境中凸显出良好的应用前景。

仿生机器人的出现很好地体现了仿生应用的理念。实际上，人类很早就进行了陆面仿生机器人的探索，如三国时期的木牛流马以及 1893 年由 Rygg 设计的机械马（参看图 1-1）；后来，人类又进行了空中仿生机器人的探索，模仿鸟类的飞行进行扑翼飞行器的设计，例如 1485 年达·芬奇设计的扑翼飞机图纸就是世界上第一个按照技术规程进行的飞行器设计案例；再后来，人类开始了水下仿生机器人的探索。纵观仿生机器人发展的历程，到现在为止经历了三个阶段。第一阶段是原始探索时期，该阶段主要是生物原型的原始模仿，如原始的飞行器，模拟鸟类的翅膀扑动，该阶段主要靠人力驱动。到了 20 世纪中

后期，由于计算机技术的出现以及驱动装置的革新，仿生机器人进入到第二个阶段——宏观仿生与运动仿生阶段。该阶段主要是利用机电系统实现诸如行走、跳跃、飞行等生物功能，并实现了一定程度上的人为控制。进入 21 世纪，随着人类对生物系统功能特征、形成机理认识的不断深化以及计算机技术的长足发展，仿生机器人进入了第三个阶段，机电系统开始与生物性能进行部分融合，如传统结构与仿生材料的融合以及仿生驱动的运用。当前，随着生物机理认识的深入、智能控制技术的发展，仿生机器人正向第四个阶段发展，即向着结构与生物特性一体化的类生命系统迈进，强调仿生机器人不仅具有生物的形态特征和运动方式，同时具备生物的自我感知、自我控制等性能特性，更接近生物原型。如随着人类对人脑以及神经系统研究的深入，仿生脑和神经系统控制成为该领域科学家关注的前沿方向。

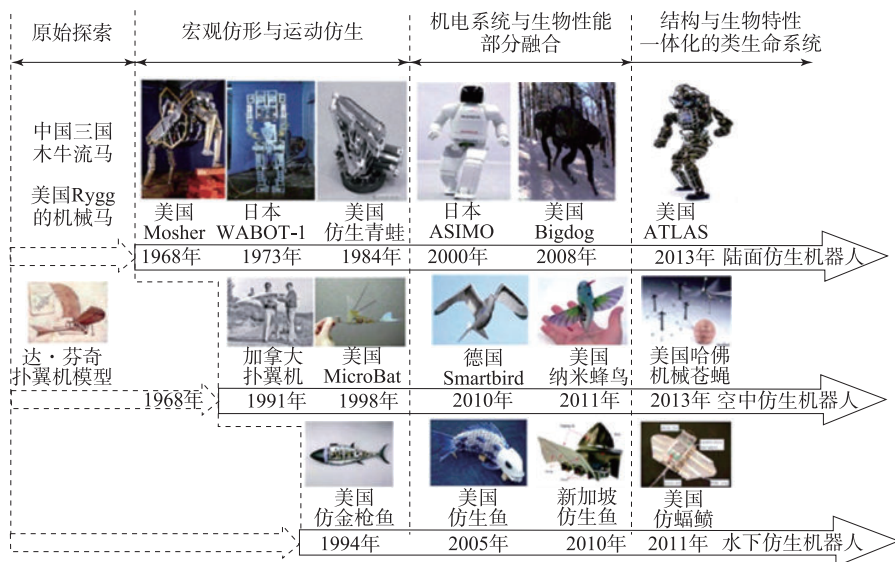


图 1-1 仿生机器人发展历程

和一些先进国家相比，我国的仿生学研究起步较晚，但发展步伐较快。尤其是近 30 年来，在国家自然科学基金委员会（简称 NSFC）的大力资助下，我国经历了跟踪国外研究、模仿国外成果到局部领域齐头并进三个阶段^[5]。如北京航空航天大学孙茂教授利用 Navier - Stokes 方程数值解和涡动力学理论研究了模仿昆虫翼作非正常运动时的气动力特性，解释了昆虫能够产生高升力的机理，为微型仿生扑翼飞行器的设计提供了理论指导，在国际仿昆虫扑翼飞行机理研究方面占有一席之地^[6]。哈尔滨工业大学刘宏教授研制的类人五指灵巧手，能灵活运动并可靠抓取物品，技术指标与国外同类产品相当。

1.1.2 仿人机器人

仿人机器人是指具有一定程度人的特征,并具有一定程度的移动、感知、操作、学习、联想记忆、情感交流等功能的智能机器人,它可以适应人类的的生活和工作环境。它的研究是一个融合机械工程、电子工程、计算机科学、人工智能、传感及驱动技术等多门学科知识与技术的高难度方向,可为人们提供各类新型控制理论和工程技术的研究平台,是目前仿生机器人技术研究中具有挑战性的难题之一。仿人机器人的研究可以推动仿生学、人工智能学、计算机科学、材料科学等相关学科的发展,具有重要的研究意义和应用价值。

模仿人的形态和行为而设计制造的机器人就是仿人机器人,一般分别或同时具有仿人的四肢和头部^[7]。中国科技大学陈小平教授介绍,机器人一般根据不同应用需求被设计成不同形状,如运用于工业领域的机械臂,运用于医疗康复领域的轮椅机器人、辅助步行机器人等^[8]。而仿人机器人研究集机械、电子、计算机、材料、传感器、控制技术等多门科学于一体,代表着一个国家的高科技发展水平。从机器人技术和人工智能的研究现状来看,要完全实现高智能、高灵活性的仿人机器人还有很长的路要走,而且,人类对自身也没有彻底的了解,这些都限制了仿人机器人的发展。

仿人和高仿真真是机器人发展的主要方向^[9]。从技术发展来看,人是世界上最高级的动物,以人为背景的研究就是最高的目标,并且能够带动相关学科的发展;而从感情层面来说,人喜欢与人相近的东西。所以当前各国科学家都在积极进行仿人机器人的研发。

如图1-2所示,仿人机器人经过了几十年的发展,从最初仅仅模仿人进行简单行走,发展到能初步感知外界环境的低智能化,再到现在集成视觉、触觉等多项技术并能根据外界环境变化作出自身调整,完成多项复杂任务的拟人化、高智能化系统。

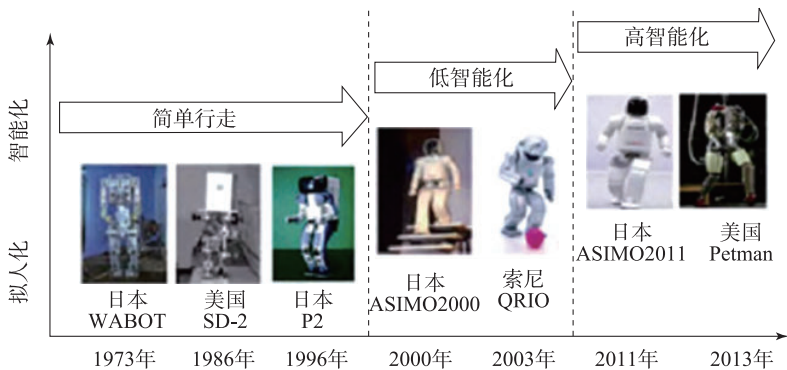


图 1-2 仿人机器人的发展历程

研制与人类外观特征类似，具有人类智能，灵活性好，机动性强，并能够与人进行交流，且不断适应环境的仿人机器人一直是人类的梦想之一。该领域的系统研制工作始于 20 世纪 60 年代末的双足步行机器人。日本早稻田大学首先展开了该方面的研究工作，其研制的 WAP、WL 和 WABOT 系列机器人都能实现基本的行走功能。在此期间，日本、美国、欧盟、韩国等国家（地区）的多家机构都进行了仿人机器人的研究探索，并取得了许多突破性的成果，如美籍华人郑元芳博士在 1986 年研制出了美国第一台双足步行机器人 SD-1 及其改进版 SD-2。该阶段主要还是侧重实现机器人的行走功能，并能实现一定程度的控制。进入 21 世纪，随着传感探测技术以及智能控制技术的发展，仿人机器人具有一定的感知功能，能获取外界环境的简单信息，可做出简单的判断并主动调整自己的相应动作，使得运动更加连续流畅。如本田公司于 2000 年研发的仿人机器人“ASIMO2000”不仅具有人的外观，还可以事先预测下一个动作并提前改变重心，因此转弯时的步行动作连续流畅，真正做到行走自如，是第一个具有世界影响力的仿人机器人。索尼公司在 2003 年推出的“QRIO”机器人，首次实现了仿人机器人的跑动。其后，法国的“BIP2000”机器人、索尼公司的“SDR”系列机器人、日本 JVC 公司研制的“J4”机器人、韩国的“HUBO”机器人，实现了诸如站立、上下楼梯、跑步、做操等多种复杂动作。

在 2005 年举行的爱知世博会上，大阪大学展出了一台名叫 Repliee Q1 expo 的女性机器人（如图 1-3 所示）。该机器人的外形复制自日本新闻女主播藤井雅子，动作细节与人极为相似^[10]。她有着丰润的嘴唇，光彩亮泽的头发，眼波流转，顾盼生辉。参观者很难在较短时间内发现她其实是一个机器人。

随着控制理论和技术的发展与进步，仿人机器人的智能性得到加强，能实现更复杂的动作，运行也更为稳定，且能根据环境的改变和自身的判断结果自动确定与之相适应的动作。如 2011 年发布的由日本本田公司研制的仿人机器人 ASIMO，是目前世界上最先进的仿人行走机器人。ASIMO 身高 1.3 m，体重 48 kg，行走速度 0~9 km/h，它



图 1-3 藤井雅子和她的拟人机器人复制品合影

仿人机器人的设计与制作

综合了视觉和触觉的物体识别技术，可进行细致作业，如拿起瓶子拧开瓶盖，将瓶中液体注入柔软的纸杯等，还能依据人类的声音、手势等指令，从事相应动作。早期的机器人如果直线行走时突然转向，必须先停下来，显得比较笨拙^[11]。而 ASIMO 就灵活得多，它可以实时预测下一个动作并提前改变重心，因此可以行走自如，诸如“8”字形行走、下台阶、弯腰等各项“复杂”动作^[12]。此外，ASIMO 还可以握手、挥手，甚至可以随着音乐翩翩起舞（见图 1-4）。

在仿人机器人领域，日本和美国的研究最为深入，成果也最为丰富。日本方面侧重于外形仿真，美国则侧重用计算机模拟人脑的功能。

2013 年美国波士顿动力公司研制的“ATLAS”机器人（见图 1-5）是当前仿人机器人的杰出代表，除了具有人形外观，它还具备了人类简单的识别、判断和决策功能，是一款具有较高智能水平的类人机器人。该机器人能在传送带上大步前进，躲开传送带上突然出现的木板；能从高处跳下稳稳落地；能两腿分开从陷阱两边走过；还能取金鸡独立之势被侧面疾速而来的球重撞而不倒。



图 1-4 ASIMO 机器人



图 1-5 “ATLAS” 机器人

2016 年 3 月，由美国机器人专家大卫·汉森（David Hanson）发明的仿人机器人“索菲亚”（见图 1-6）惊艳亮相。她继承了奥黛丽·赫本和大卫妻子的古典美，肌理细腻、皮肤光滑、鼻子细长、颧骨微凸、双眼深邃、微笑迷人。她的皮肤由一种叫 Frubber 的仿生皮肤材料制成，几乎可以假乱真^[13]。通过在银屏上的精彩表现，这位栩栩如生的机器人赢得了包括主持人在内的众多

粉丝。在测试中，与人类极为相似的索菲亚自曝愿望，称想去上学，成立家庭。索菲亚看起来就像一位真正的人类女性，储存在她“大脑”中的计算机算法能够识别人脸，能够让索菲亚使用多种面部表情与人交流。索菲亚还是人类历史上首个获得公民身份的仿人机器人。



图 1-6 索菲亚演讲的画面

仿人机器人另一个研究方向就是仿人手臂和灵巧手指的研究。从最初的外观仿形并实现简单运动阶段发展到现在集运动和感知于一体，并能实现类似人手抓取功能等细微操作的机电系统，仿人手臂和灵巧手指技术获得了极大的进展。美国加利福尼亚大学 Tomovic 等人于 1962 年针对伤寒病患者设计的“Belgrade”被认为是世界上问世最早的灵巧手，但它只能实现一些简单动作。Salisbury 等人于 1982 年研制的“Stanford/JPL”仿人手首次完整地引入了位置、触觉、力等传感功能，开创了多指手实际抓取操作的先河，是当时乃至现在都颇具代表性的灵巧手。此后，灵巧手朝着更加灵活、更加智能的方向发展^[14]。2010 年德国宇航中心 DLR 研制的手-臂联合系统“Hasy”（见图 1-7），总共具有 21 个自由度，是世界上第一个采用仿生学关节进行手指设计的多指灵巧手，手指关节的运动模仿人手进行面接触滑动而不是单纯的转动，使其运动特性与人类手指更加接近。



图 1-7 “Hasy”机械手臂

进入 21 世纪以后，我国也逐渐开始关注仿人机器人领域。2000 年国防科学技术大学研制的“先行者”是我国第一台仿人机器人。其后，北京理工大学于 2002 年研制的仿人机器人“BHR”，突破了系统集成技术，实现了无拖缆行走，可在未知地面上稳定行进且能表演太极拳等复杂动作。哈尔滨工业大学研制开发的“HIT”系列双足步行机器人实现了静步态和动步态步行，能够完成前/后行、侧行、转弯、上下台阶及上斜坡等动作。清华大学研制开发的仿人机器人“THBIP”（见图 1-8）采用了独特的传动结构，成功实现无拖缆连续稳定地平地行走、