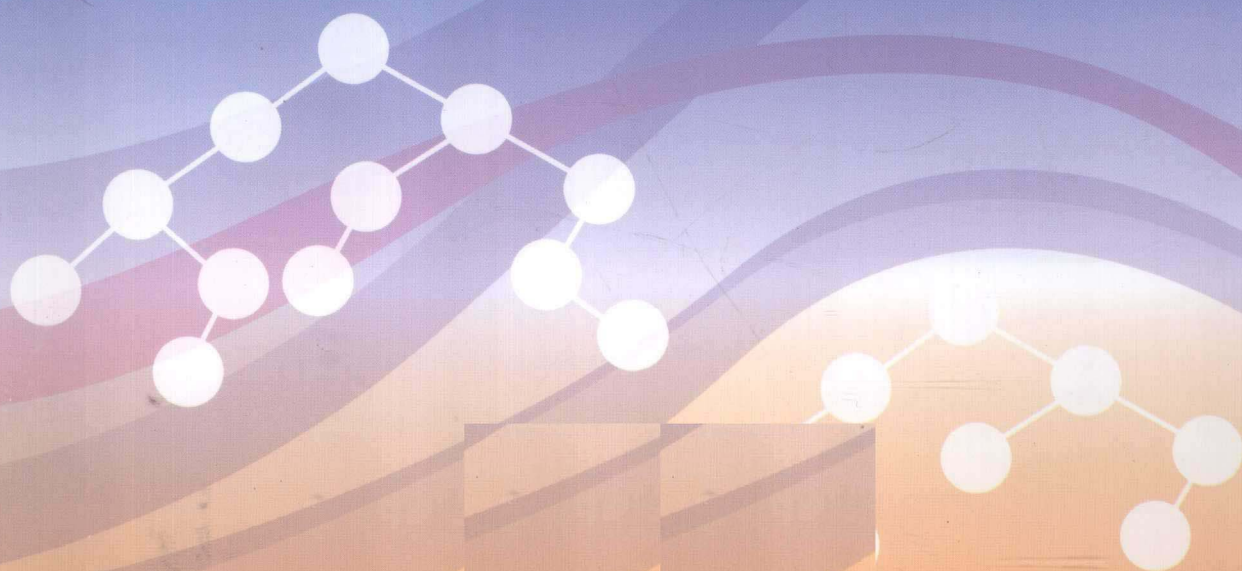


高等学校计算机专业规划教材

Robotic Principles and Technology

机器人原理与技术



董慧颖 编著

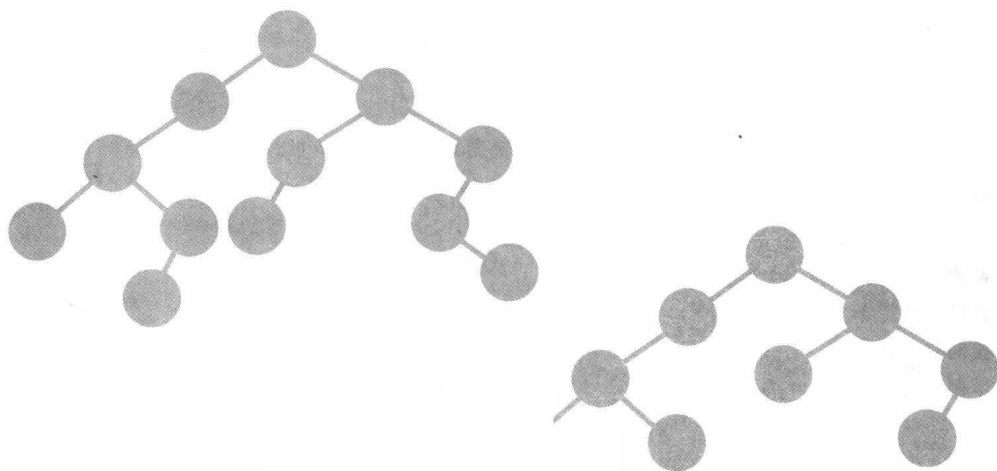
清华大学出版社

高等学校计算机专业规划教材

Robotic Principles and Technology

机器人原理与技术

董慧颖 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书总结和归纳了作者近十年来“机器人技术及应用”课程教学中所使用的教案,并结合了多年科研项目开发过程中所积累的丰富经验和部分成果。全书图文并茂、深入浅出,主要内容包括机器人的发展历史及前景展望,相关定义、术语及分类、相关学科及知识构成、组成原理及机构学基础、坐标系的建立及坐标变换、位置运动学和速度运动学、动力学、控制和机器人的轨迹规划及仿真基础,最后两章详细列举了机器人运动学仿真及双机器人协调仿真实例。

本书有利于学生和科研工作者以及广大的机器人爱好者加深对机器人基本概念的理解和掌握,更可使其体会分析问题和解决问题的过程,提高学习的兴趣和效果,尤其是书中的仿真实例既可以为参加“卓越工程师培养计划”和“大学生创新创业活动”的学生奠定坚实的理论和实践基础,也可以成为电类、机械类以及相关专业的学生专业综合实训能力的提高和训练的一部分,同时也可以为毕业设计提供指导,从而增强学习兴趣,进而为创新能力的提高奠定坚实的基础。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机器人原理与技术/董慧颖编著. --北京:清华大学出版社,2014

高等学校计算机专业规划教材

ISBN 978-7-302-36101-5

I. ①机… II. ①董… III. ①机器人学—高等学校—教材 IV. ①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第069714号



责任编辑:龙启铭

封面设计:常雪影

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15

字 数:371千字

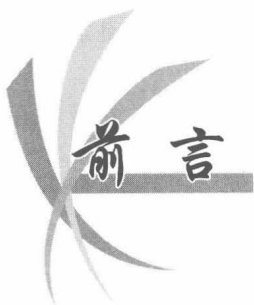
版 次:2014年9月第1版

印 次:2014年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00元

产品编号:054527-01



本书总结和归纳了作者近十年来“机器人技术及应用”课程教学中所使用的教案,并结合了多年科研项目开发过程中所积累的丰富经验和部分成果,全书图文并茂、深入浅出。

科研和教学团队及实验室的师生们在此期间搜集了大量的图片和资料,极大地丰富了教学内容,并利用课堂和大量的业余时间,进行了机器人仿真和机器人的创新实践活动,显著提高了教学的形象性与可理解性,同时提高了学生们的技能和实践能力。最近,我们还采用了项目教学和小组实践相结合的理论教学与实践的尝试,初步得到了较好的效果。相信这一根据教学创新所编写的著作定会加快教学进度,提高教学质量。

本书的特点是着重讲解机器人的基本概念、基本原理以及所涉及的一些基本知识,讲解和列举了机器人的运动学仿真,本书给出了一定量的例题、习题及仿真实例,有利于学生和科研工作者以及机器人的爱好者对基本概念的理解和掌握,更可使学生动手体会分析问题和解决问题的实际过程,提高学习的兴趣和效果。特别是书中的仿真实例既可以为参加“卓越工程师培养计划”和“大学生创新创业活动”的学生奠定坚实的理论和实践基础,也可以成为电类、机械类以及相关专业的学生专业综合实训能力提高和训练的一部分,同时也可以为学生毕业设计提供指导,从而增强学生及机器人爱好者的学习兴趣,进而为创新能力的提高奠定坚实的基础。本书对机器人的原理和理论的讲解深入浅出,也可以成为高职高专、职业技术学院等职业教育的参考书。

由于本书内容广泛,涉及学科多、跨度大,知识更新快,编排过程中前后章节的风格、编辑等可能未完全统一,个别内容、符号前后也可能有矛盾之处。总之,所存在的不完善之处,希望各位同行、同学在使用过程中能够多提宝贵意见并加以斧正,以便今后不断改进、提高和完善。您的意见和建议请发送至作者的邮箱。

我们确信经过一段时间的使用,本书一定会成为高水平、高质量的教学和科研参考书,也一定会成为广大机器人爱好者的案头著作。

本书得到了徐心和教授的无私帮助,作者在此表示由衷的感谢,徐老师学识渊博、学风严谨、工作勤奋、精神乐观的学术风格一直是我的榜样,他在智能机器人研究领域特别是足球机器人研究和竞赛机器人研究方向以及机器人博弈领域的造诣都给了我很多启发。

清华大学出版社的责任编辑龙启铭及广大员工为本书的出版做了大量辛苦而细致的工作,作者在此表示衷心的感谢。

作者还要感谢为本书的出版提出建议的人,最后,还要感谢家人和那些常常鼓励我的朋友们。

本书可以作为研究生及本科生的参考书和教材,适用于自动化类专业(自动化、测控专业、电气自动化)、机械自动化类专业(机械制造及自动化、机电一体化、机械电子工程)的参考书和教材,也可以作为电子信息类专业及计算机类专业的参考书或教材,根据专业的特点,各专业讲授内容和各章节的对应关系以及参考学时见下表(注:非机械类专业课不选第2章,但可以只讲授2.1节和2.2节,自动化专业可等同机械类各专业):

章节 专业名称	学时	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
自动化	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
机械制造及自动化	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
机电一体化	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
机械电子工程	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
测控	32	—		—	—	—			—	—	
电气自动化	32	—		—	—	—			—	—	
电子信息	32	—		—	—	—			—	—	
计算机	32	—		—	—	—			—	—	



第 1 章 绪论 /1

1.1 机器人概述	1
1.1.1 古代机器人	1
1.1.2 机器人三定律	3
1.1.3 现代机器人	6
1.1.4 机器人技术大发展	7
1.1.5 机器人在中国	9
1.2 机器人的相关定义及术语	20
1.2.1 机器人的定义	20
1.2.2 机器人学	21
1.2.3 操作机器人(工业机器人)	21
1.2.4 智能机器人和自主机器人	21
1.2.5 机器人系统	23
1.2.6 多机器人系统和多智能体系统	23
1.2.7 微纳机器人和微纳操作系统	23
1.2.8 模块化及可重构机器人	23
1.2.9 机器人化机器	25
1.3 机器人分类	25
1.3.1 机器人的代	26
1.3.2 机器人的分类	26
1.3.3 机器人的应用领域分类	26
1.4 机器人学的技术及相关科学	27
1.4.1 机器人的主要技术	27
1.4.2 机器人的相关科学与学科知识构成	27
1.4.3 机器人学的研究内容	28
1.5 机器人技术展望	28
1.5.1 国际先进机器人计划(IARP)	28
1.5.2 中国的“863 计划”	28
1.5.3 机器人的最伟大成就及未来的前景	29
1.5.4 机器人对人类的挑战	30



1.5.5 机器人的研究拓展至哲学及社会学范畴	30
1.6 本章小结	32

第2章 机器人的组成原理及机构学基础 /33

2.1 机器人的组成原理	33
2.1.1 机器人系统组成	33
2.1.2 机器人本体	33
2.1.3 机器人感知系统	34
2.1.4 机器人控制系统	35
2.1.5 机器人决策系统	35
2.1.6 通信系统	36
2.1.7 人机交互系统	37
2.1.8 机器人的硬件系统结构	37
2.1.9 机器人软件系统构成	37
2.2 机器人系统的设计方法	38
2.2.1 机器人系统设计的基本原则	38
2.2.2 机器人系统设计的四个阶段	38
2.2.3 机器人系统设计过程中问题的解决方法	39
2.3 机器人机构学	39
2.3.1 坐标系统	39
2.3.2 操作机构类型	40
2.3.3 移动机构类型	41
2.4 运动副及自由度	42
2.4.1 运动副及其分类	42
2.4.2 运动副与关节机构	43
2.4.3 关节及其分类	43
2.4.4 与自由度的关系	43
2.4.5 机器人运动副(关节)符号	43
2.4.6 自由度	45
2.4.7 机动度	47
2.5 典型机构	47
2.5.1 联轴器	47
2.5.2 减速器	49
2.5.3 旋转驱动机构	50
2.5.4 直线驱动机构	52
2.5.5 其他常用机构	52
2.6 机器人的技术指标与性能评价	57
2.6.1 指标体系与评价内容(机器人技术指标与性能评价)	57



2.6.2 机器人对控制系统的基本要求	59
2.7 本章小结	59

第3章 机器人坐标系及坐标变换 /60

3.1 位置与姿态	60
3.2 正交坐标系	61
3.2.1 正交坐标系及矢量基础	61
3.2.2 位置的描述	63
3.2.3 姿态的描述	63
3.3 运动坐标表示	64
3.3.1 平动的坐标表示	64
3.3.2 转动的坐标表示	64
3.3.3 复合运动的坐标表示	66
3.4 齐次坐标及其变换	67
3.4.1 齐次坐标的定义和性质	67
3.4.2 齐次变换和齐次矩阵	68
3.4.3 齐次变换的性质	70
3.5 机器人坐标系	72
3.5.1 机器人坐标系统的构成	72
3.5.2 变换方程的建立	73
3.6 本章小结	73
习题	74

第4章 机器人位置运动学 /76

4.1 机器人参数及其确定	76
4.1.1 以回转副连接的两杆件的 $D-H$ 参数的确定	76
4.1.2 变换矩阵的确立	78
4.1.3 以移动副连接的两杆件的 $D-H$ 参数的确定	78
4.2 机器人运动方程	78
4.2.1 三种简化情况的齐次变换矩阵	78
4.2.2 机器人运动方程的解	80
4.3 从手部位姿到关节变量——运动学逆问题	84
4.3.1 $\theta-r$ 操作机的手臂解	84
4.3.2 手部姿态角的确定	85
4.3.3 6 关节操作机的手臂解	86
4.3.4 在求手臂解时出现的两个问题	89
4.4 本章小结	89
习题	89

第 5 章 机器人速度运动学 /91

5.1 机器人的微分移动	91
5.2 微分转动的两个定理	91
5.3 微分算子	93
5.4 雅可比矩阵及其变换	94
5.4.1 雅可比矩阵	94
5.4.2 $\theta-r$ 操作机的雅可比矩阵及其逆矩阵	95
5.4.3 雅可比矩阵的物理意义	97
5.5 本章小结	98
习题	98

第 6 章 机器人动力学 /100

6.1 机器人动力学研究概述	100
6.2 拉格朗日动力学方法	101
6.2.1 用于保守系统的拉格朗日方程	101
6.2.2 用于非保守系统的拉格朗日方程	101
6.2.3 拉格朗日函数方法	102
6.2.4 拉格朗日方程的特点	102
6.3 $\theta-r$ 操作机的动力学分析	102
6.3.1 操作机的动力学模型	102
6.3.2 建立拉格朗日函数	103
6.3.3 广义力的计算	104
6.3.4 应用实例分析	105
6.4 倒立摆系统的动力学分析	106
6.4.1 倒立摆系统及其基本假设	106
6.4.2 用牛顿力学的方法来建立一级倒立摆系统的动力学模型	107
6.4.3 用拉格朗日函数法建立动力学模型(I)	108
6.4.4 用拉格朗日函数法建立动力学模型(II)	110
6.4.5 三种动力学建模方法之比较	111
6.5 本章小结	112
习题	112

第 7 章 机器人控制 /113

7.1 概述	113
7.1.1 机器人控制系统构成	113
7.1.2 工业机器人的典型控制方式	115
7.1.3 机器人控制的特点	115



7.1.4	主要控制策略	116
7.2	伺服控制器	119
7.2.1	单关节驱动系统传递函数	120
7.2.2	单关节的建模与角度反馈比例控制	122
7.3	示教再现与轨迹控制	122
7.3.1	轨迹记录与再现	122
7.3.2	笛卡儿运动与轨迹设计	123
7.3.3	轨迹控制多项式	125
7.3.4	笛卡儿控制	128
7.4	机器人的力控制	130
7.4.1	以位移控制为基础	130
7.4.2	以广义力控制为基础	130
7.4.3	位置和力的混合控制	130
7.5	机器人的柔顺控制	131
7.5.1	任务系和约束	131
7.5.2	组合控制策略	133
7.5.3	柔性(也称柔顺运动)机器人控制系统	134
7.6	倒立摆控制系统(单足机器人系统)分析与设计	136
7.6.1	问题概述	136
7.6.2	车摆系统建模	137
7.6.3	状态方程的建立	138
7.6.4	系统分析	138
7.6.5	最优控制器设计	139
7.6.6	最优观测器设计	140
7.7	擦地板机器人	141
7.8	本章小结	142
	习题	142

第8章 机器人轨迹规划及仿真 /143

8.1	机器人位姿的描述	143
8.1.1	位置的描述	143
8.1.2	方位的描述	143
8.1.3	位姿的描述	144
8.2	坐标变换	144
8.2.1	平移变换	144
8.2.2	旋转变换	145
8.2.3	复合变换	145
8.3	连杆参数和连杆坐标系统	146



8.3.1	连杆描述	146
8.3.2	连杆连接的描述	147
8.3.3	连杆坐标系的规定	147
8.3.4	建立连杆坐标系的步骤	148
8.3.5	连杆参数的总结	148
8.4	连杆变换	148
8.5	机器人操作臂运动学方程	149
8.6	运动学方程反解的讨论	152
8.6.1	解的存在性和工作空间	152
8.6.2	反解的唯一性和最优解	153
8.7	几种机器人空间的关系	153
8.8	机器人运动学中的速度分析	153
8.9	机器人的 MATLAB 仿真	154
8.9.1	MATLAB 环境的机器人仿真工具	154
8.9.2	构建机器人对象	158
8.9.3	运动学仿真	160
8.10	本章小结	160
	习题	161

第 9 章 机器人运动学仿真实例 /162

9.1	关节空间的轨迹规划	163
9.1.1	三次多项式插值	163
9.1.2	五次多项式插值	171
9.1.3	三次多项式五次多项式轨迹规划对比	180
9.2	直角坐标空间的轨迹规划	180
9.2.1	直线插补算法	181
9.2.2	圆弧插补算法	182
9.3	B 样条曲线	187
9.3.1	四阶三次均匀 B 样条函数的推导方法	187
9.3.2	四阶三次 B 样条曲线的性质	188
9.3.3	控制点的求法	189
9.3.4	边界条件	190
9.4	机器臂轨迹规划仿真	192
9.4.1	机器臂在笛卡儿空间做直线运动仿真	192
9.4.2	机器臂在笛卡儿空间做圆弧运动仿真	192
9.4.3	机器臂在笛卡儿空间做三次 B 样条运动仿真	193
9.5	本章小结	194

第 10 章 双机器人协调仿真实例 /195

10.1	双机器人协调作业的分析·····	195
10.2	插值算法·····	195
10.2.1	笛卡儿路径轨迹规划·····	196
10.2.2	线性函数插值·····	196
10.2.3	空间圆弧插补算法·····	198
10.3	建立 puma560 机器人模型 ·····	202
10.4	puma560 运动学仿真 ·····	204
10.5	双机器人协调仿真·····	204
10.5.1	空间直线运动·····	204
10.5.2	平面圆弧运动·····	205
10.5.3	空间圆弧运动·····	207
10.5.4	正弦曲线·····	207
10.5.5	抛物线·····	207
10.6	双机器人的工作空间·····	208
10.7	双机器人的分层控制·····	209
10.7.1	关节控制级·····	210
10.7.2	本体控制级·····	210
10.7.3	对象控制级·····	211
10.7.4	任务控制级·····	211
10.8	双机器人关节最优轨迹规划·····	212
10.8.1	问题建模及任务描述·····	212
10.8.2	最优时间关节加速度·····	212
10.8.3	机器人协作最优时间轨迹·····	213
10.8.4	双臂机器人仿真实验·····	214
10.9	本章小结·····	216

附录 A 有关机器人的主要技术期刊及著名国际会议 /217**附录 B 操作机器人 /219**

B.1	操作机器人直线运动程序 ·····	219
B.2	操作机器人圆弧运动程序 ·····	220
B.3	操作机器人三次 B 样条运动程序 ·····	222

参考文献 /224

机器人的诞生和机器人学的发展是 20 世纪自动控制领域最有说服力的成就,是当代人类科学技术进步的巨大成果。目前,全世界已经拥有数百万台机器人,销售额每年递增,机器人技术这种井喷式的发展使工业、农业、军事等领域都得到了前所未有的进步。机器人技术是现代科学与技术的多学科交叉和综合的体现,机器人技术的发展是国家综合实力和水平的象征。因此,许多国家都已经将机器人技术列入本国 21 世纪高科技发展计划。随着机器人技术的飞速发展,机器人的应用领域不断扩大,已经从制造业进入人们的工作和生活领域,成为人们日常工作和生活的帮手和伙伴。机器人的结构、形态和工作方式也呈现出多样化的发展,仿生和智能的特征也越来越明显,其智能程度不断提升、性能不断提高,功能不断完善,机器人的研究范围也向着更广泛的领域和更深入的层次发展,其研究范围已扩展到社会学领域及大脑对外界物体的控制和感知等领域。可以预见,机器人对人类社会和人们工作和生活的影响将会越来越大。

1.1 机器人概述

1.1.1 古代机器人

机器人的发展历史可以追溯到我国古代的周王朝,据古籍《列子·汤问篇》第十三部分的记载,一位木偶工匠偃师,向周武成王的玄孙——周穆王(公元前 921 年,周王朝的第五位皇帝)献上“美男子”——伶人(木甲艺伶),伶人的设计非常巧妙!他抑低下巴就歌唱,歌声合乎旋律;他抬起两手就舞蹈,舞步符合节拍。其动作千变万化,随心所欲。穆王以为他是个真人,便叫来自己宠爱的盛姬和妃嫔们一道观看其表演。快要演完的时候,歌舞艺人眨着眼睛去挑逗穆王身边的妃嫔。穆王大怒,要立刻杀死偃师,偃师吓得半死,立刻把歌舞艺人拆散,展示给穆王看,原来伶人都是用皮革、木头、树脂、漆和白垩、黑炭、丹砂、青腹之类的颜料凑合而成的。

穆王又仔细地检视,只见它里面有着肝胆、心肺、脾肾、肠胃;外部则是筋骨、肢节、皮毛、齿发,虽然都是假物,但没有一样不具备。把这些东西重新组装以后,歌舞艺人又恢复原状。穆王试着拿掉它的心脏,嘴巴就不能说话;拿掉肝脏,眼睛就不能观看;拿掉肾脏,双脚就不能行走。穆王这才高兴地叹道:“人的技艺竟能与天地自然有同样的功效,真是巧夺天工,不可思议!”。

这虽然是《列子·汤问篇》中的一个故事,但它却体现了古代中国人民具有高超的科学幻想能力和设计加工能力,这可称为史上最早记载的人形机器人——“歌舞机器人”。

东汉时的大科学家张衡(图 1.1),发明了“记里鼓车”(浑天仪,机器人的雏形)(图 1.2),它能为人们报告所行走的里程,车每行驶一里,车上的小人就击一下鼓,每行十里,它就敲一下钟,而无须人的干预或手工测量、计算里程,这可称作古代的“里程计”。



图 1.1 张衡

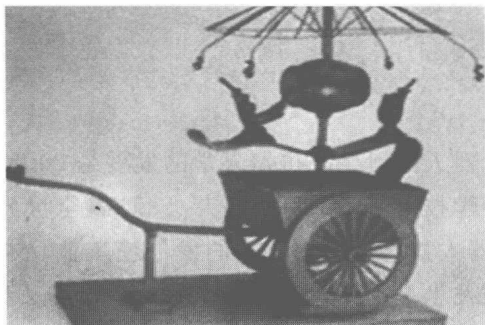


图 1.2 计里鼓车,古代里程计

张衡的另一发明“指南车”(图 1.3)也可称之为世界上最早的机器人。

三国时期,出现了能替人搬运物品的机器人——“木牛流马”。它是由蜀汉丞相诸葛亮发明的运输工具(图 1.4),为蜀国十万大军提供粮食,是一种能替代人运输物资的机器,它可以运送粮草,在羊肠小道上行走如飞,其舌为控制机关,载重量为“一岁粮”,约 200 公斤,每日行程为“特行者数十里,群行者二十里”(图 1.5)。这也可以算是一种较早的仿生机器人或四腿(足)机器人——“机器牛”和“机器马”。

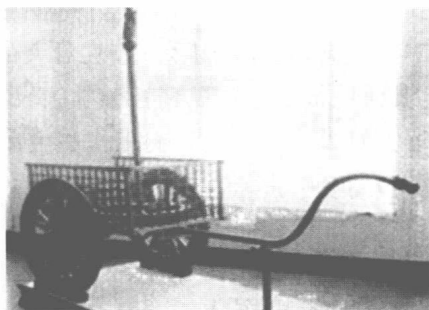


图 1.3 指南车,古代最早的机器人

古希腊传说中的“特洛伊木马”(Trojan Horse)也是一种机器人。当时,希腊联军围困特洛伊城十年,久攻不下后佯装逃跑,并丢弃一巨大木马,特洛伊守军不知是计,便将木马抬回城中作为战利品,夜深人静之时,从木马的腹

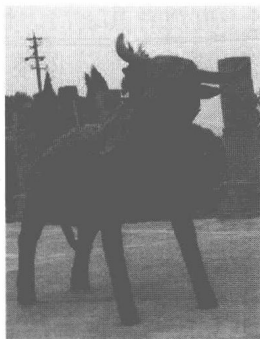


图 1.4 木牛流马



图 1.5 木牛流马

中爬出伏兵,打开特洛伊城门,特洛伊城最后沦陷(图 1.6)。这可称为是最早的欺骗型“机器马”。



图 1.6 特洛伊木马

特洛伊木马也是著名的计算机木马病毒的名字(Trojan)。

“塔罗斯”(希腊语: Τάλας; 英语: Talos/Talus)是希腊神话中的机械巨人(Automaton)(图 1.7),其含义为“砍伐”或“太阳”。众神之父宙斯遇到了来海边玩耍的美丽少女欧罗巴,被她的美貌深深地吸引,于是他变成一头公牛来到海边,将欧罗巴诱到了克里特岛,并命能工巧匠用青铜铸造了一个巨人送给欧罗巴,取名“塔罗斯”,他是一个健壮的男青年,背上还有一对能飞的翅膀,能同人一样思考,具有超人的勇气和力量,塔罗斯刀枪不入,是位战无不胜的英雄。这可称为是最早记载的机器战士。

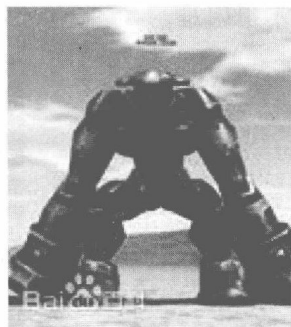


图 1.7 超人塔罗斯

1.1.2 机器人三定律

1. 机器人概念的哲学意义

古罗马时期之后,欧洲便进入了中世纪的封建神学统治,认为人是上帝创造的,对自身的认识不能提出更为科学的见解。随着科学的发展,西方在 17 世纪时,一些有头脑的科学家、哲学家开始不再认为人是上帝造的。例如:

法国数学家笛卡儿(Rene Descartes, 1596. 3. 31—1650. 2. 11)(图 1.8)就提出这样一个天才的科学命题——人是机器。

英国哲学家霍布斯(Thomas Hobbs, 1588—1679)(图 1.9)更进一步地指出,人不过是一架(像钟表一样)正立行走的复杂机器:心脏是发条,关节是齿轮,神经是游丝。

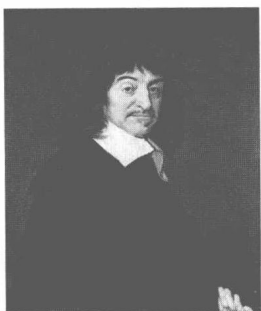


图 1.8 笛卡儿

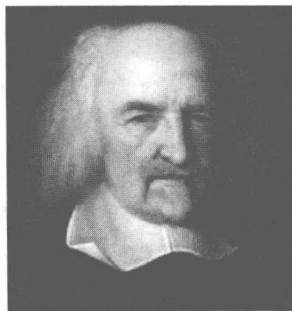


图 1.9 霍布斯

而当代的科学家,如诺伯特·维纳(Norbert Wiener)(图 1.10)由于发现了动物(包括人)与机器在控制和通讯方面的一致性,因此《控制论—关于在动物和机器中的控制和通讯的科学》(图 1.11)一书的第 1 版中,将人、动物和机器在控制和通信上并列及等同起来看待,并因而引起了哲学上的讨论,导致当时的销售困难。在第 2 版中又专门增设一章:“关于学习和生殖机”(On Learning and Self-Reproducing Machine)(图 1.12),进一步探讨制造能够学习的、自我繁殖的机器问题。他从科学的角度出发,论证了实现这一设想的可行性,并指出根据当时已有的数字机和冯·诺依曼(图 1.13)提出的博弈论(图 1.14),制造出一部与人类棋手水平相仿的机器棋手也不很困难。

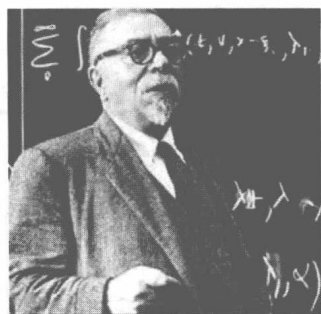


图 1.10 诺伯特·维纳

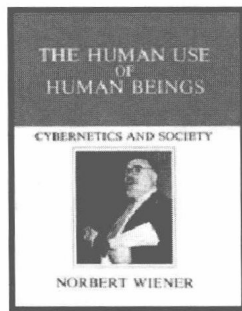
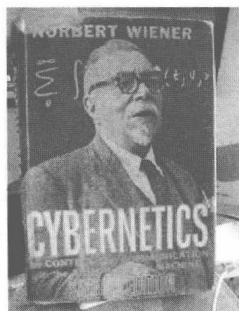


图 1.11 控制论,关于在动物和机器中的控制和通讯的科学

这些思想说明了人与机器之间并没有本质的区别,两者之间并不是绝对无关的。这就给我们研究机器人带来了希望:人是机器,有机器性的一面;反过来思考,机器也可以转变为人。因此,我们也应该能用机器来模仿人。

1920 年捷克的戏剧作家、科幻作家及童话寓言家卡瑞鲁·查培克(Karel Capek, 1890. 1. 9—1938. 12. 25)(图 1.15)发表了科幻戏剧《罗萨姆万能机器人制造公司》(Rossumovi Univerzalni Roboti)(图 1.16),首先开始使用 robot 一词,称是其兄弟约瑟夫发明了该词。robot 一词即由 robotovat 和 robota 延伸而成,是捷克语“劳动、奴役”的

PART I	
ORIGINAL EDITION	
1948	
Introduction	1
I. Newtonian and Bergsonian Time	30
II. Groups and Statistical Mechanics	48
III. Time Series, Information, and Communication	60
IV. Feedback and Oscillation	95
V. Computing Machines and the Nervous System	116
VI. Gestalt and Universals	133
VII. Cybernetics and Psychopathology	144
VIII. Information, Language, and Society	155
PART II	
SUPPLEMENTARY CHAPTERS	
1961	
IX. On Learning and Self-Reproducing Machines	160
X. Brain Waves and Self-Organizing Systems	181
Index	205

图 1.12 控制论第2版目录

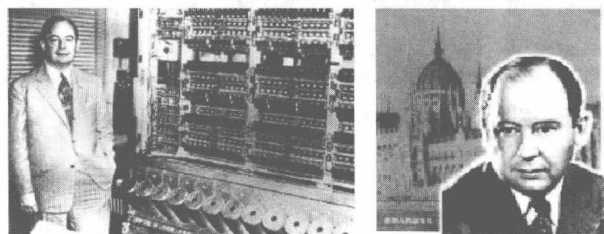


图 1.13 冯·诺依曼

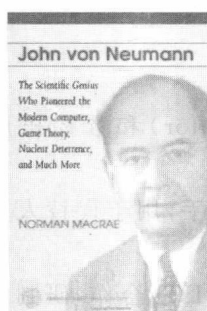


图 1.14 冯·诺依曼与博弈论

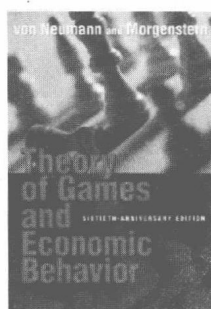


图 1.15 卡瑞鲁·查培克

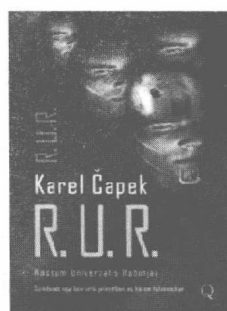


图 1.16 罗萨姆万能机器人制造公司