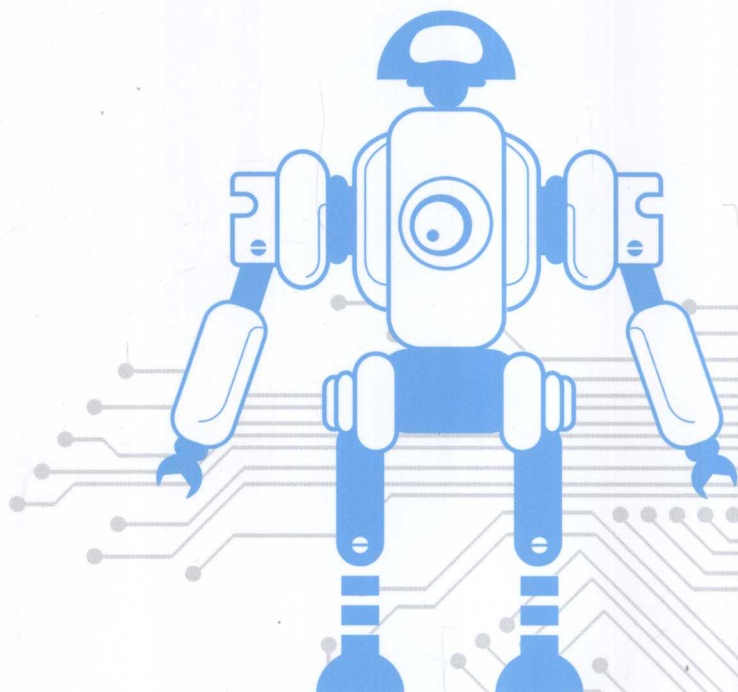
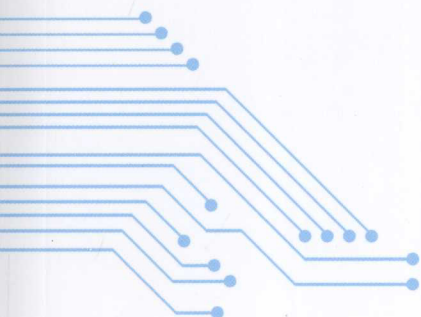


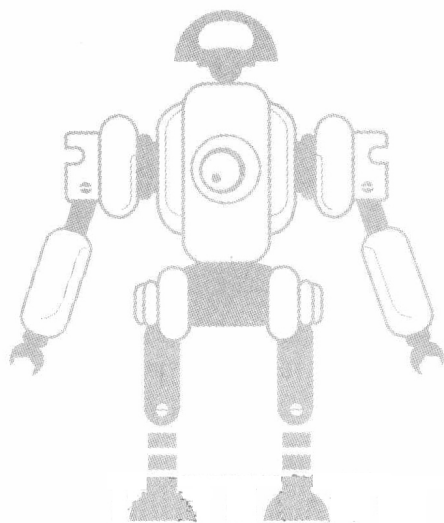


# 智能机器人 原理与实践

◎ 陈雯柏 主编  
吴细宝 许晓飞 刘琼 刘学君 副主编



清华大学出版社



# 智能机器人 原理与实践

◎ 陈雯柏 主编

吴细宝 许晓飞 刘琼 刘学君 副主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书主要介绍智能机器人系统的运动控制、智能感知、通信系统、视觉技术、语音技术、导航与路径规划等内容。本书注重系统性、全面性,特别是将最新的无线传感器网络与智能机器人、服务机器人的语音合成与识别技术等内容引入教学中。

本书编撰从创新能力较强的应用型人才培养角度出发,重视理论与实践的结合。本书力求深入浅出,并将系统性、全面性和前沿性结合起来,可作为高等院校智能科学与技术、计算机、自动化、电子信息与机械电子工程等专业的本科生和硕士生的教材或参考书使用,也可作为工科学生机器人创新实践活动、相关学科竞赛的培训教材或供有关工程技术人员参考。

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

智能机器人原理与实践/陈雯柏主编.--北京:清华大学出版社,2016

清华科技大讲堂

ISBN 978-7-302-43351-4

I. ①智… II. ①陈… III. ①智能机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 062860 号

责任编辑:闫红梅 李 晔

封面设计:刘 键

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.5

字 数:397 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版

印 次:2016 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.50 元

# 前 言

---

智能科学技术既是信息科学技术的核心、前沿和制高点,又是生命和认知科学技术最为精彩的篇章。“机器人革命”有望成为“第三次工业革命”的一个切入点和重要增长点,我国将成为全球最大的机器人市场。

本书是作者几年来在智能科学与技术专业教学实践的基础上,结合现有的教学讲义和最新技术发展编写形成的,书中融入了作者多年来的教学研究与思考。

本书着眼于创新能力较强的应用型人才培养,重视理论与实践的结合。本书作为《机器人学》的后续教材,精选了智能机器人的经典内容,主要阐述智能机器人系统的运动控制、感知系统、通信系统、视觉技术、语音技术、导航与路径规划等方面内容。章节安排上注意了先理论后实践,全书共 11 章。第 1~3、5、7、8 章由陈雯柏编写,第 4 章由刘学君编写,第 6 章由吴细宝编写,第 9 章由许晓飞编写,第 10 章由刘琼编写,第 11 章由陈雯柏、赵逢达编写。全书由陈雯柏负责整理和统稿。

本书编撰从创新能力较强的应用型人才培养角度出发,重视了理论与实践的结合。本书力求深入浅出,并将系统性、全面性和前沿性结合起来,可作为高等院校智能科学与技术专业、自动化、电子信息与机械电子工程等专业的本科生和硕士生的教材或参考书使用,也可供有关工程技术人员参考。本书基于智能机器人教育平台、机器人足球比赛平台,也可作为工科学生机器人创新实践活动、相关学科竞赛的培训教材。不同学校与专业的学生也可根据实际情况和课时需要选学部分内容。

感谢北京市属高等学校青年拔尖人才培育计划项目(CIT&TCD201404125)、北京信息科技大学教材建设、卓越工程师联盟开放实验室建设项目(PXM2015\_014224\_000032)资助。清华大学出版社的编辑们为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不足之处,诚恳欢迎各位读者对本书提出批评指正意见,不胜感激。

陈雯柏

2016 年 3 月

# 目 录

|                  |    |
|------------------|----|
| 第 1 章 概论         | 1  |
| 1.1 机器人的定义       | 1  |
| 1.1.1 机器人三定律     | 1  |
| 1.1.2 机器人各种定义    | 1  |
| 1.2 机器人的产生与发展    | 2  |
| 1.3 智能机器人的体系结构   | 3  |
| 1.3.1 程控架构       | 3  |
| 1.3.2 分层递阶架构     | 4  |
| 1.3.3 包容式架构      | 4  |
| 1.3.4 混合式架构      | 5  |
| 1.3.5 分布式结构      | 5  |
| 1.3.6 进化控制结构     | 6  |
| 1.3.7 社会机器人结构    | 7  |
| 第 2 章 智能机器人的运动系统 | 8  |
| 2.1 机器人的移动机构     | 8  |
| 2.1.1 轮式移动机构     | 9  |
| 2.1.2 履带式移动机构    | 14 |
| 2.1.3 足式移动机构     | 17 |
| 2.2 机器人的运动控制     | 25 |
| 2.2.1 运动控制任务     | 25 |
| 2.2.2 速度控制       | 27 |
| 2.2.3 位置控制       | 27 |
| 2.2.4 航向角控制      | 28 |
| 2.3 机器人的控制策略     | 28 |
| 2.3.1 PID 控制     | 28 |
| 2.3.2 自适应控制      | 29 |
| 2.3.3 变结构控制      | 29 |
| 2.3.4 神经网络控制     | 30 |
| 2.3.5 模糊控制       | 32 |

|       |            |    |
|-------|------------|----|
| 2.4   | 机器人的驱动技术   | 33 |
| 2.4.1 | 直流伺服电动机    | 33 |
| 2.4.2 | 交流伺服电动机    | 35 |
| 2.4.3 | 无刷直流电动机    | 35 |
| 2.4.4 | 直线电机       | 36 |
| 2.4.5 | 空心杯直流电机    | 37 |
| 2.4.6 | 步进电机驱动系统   | 37 |
| 2.4.7 | 舵机         | 37 |
| 2.5   | 机器人的电源技术   | 39 |
| 2.5.1 | 机器人常见电源类型  | 39 |
| 2.5.2 | 常见电池特性比较   | 40 |
| 第3章   | 智能机器人的感知系统 | 42 |
| 3.1   | 感知系统体系结构   | 42 |
| 3.1.1 | 感知系统的组成    | 42 |
| 3.1.2 | 感知系统的分布    | 44 |
| 3.2   | 距离/位置测量    | 45 |
| 3.2.1 | 声呐测距       | 46 |
| 3.2.2 | 红外测距       | 48 |
| 3.2.3 | 激光扫描测距     | 49 |
| 3.2.4 | 旋转编码器      | 51 |
| 3.2.5 | 旋转电位计      | 53 |
| 3.3   | 触觉测量       | 53 |
| 3.4   | 压觉测量       | 55 |
| 3.5   | 姿态测量       | 56 |
| 3.5.1 | 磁罗盘        | 56 |
| 3.5.2 | 角速度陀螺仪     | 59 |
| 3.5.3 | 加速度计       | 62 |
| 3.5.4 | 姿态/航向测量单元  | 63 |
| 3.6   | 视觉测量       | 64 |
| 3.6.1 | 被动视觉测量     | 64 |
| 3.6.2 | 主动视觉测量     | 65 |
| 3.6.3 | 视觉传感器      | 66 |
| 3.7   | 其他传感器      | 67 |
| 3.7.1 | 温度传感器      | 67 |
| 3.7.2 | 听觉传感器      | 67 |
| 3.7.3 | 颜色传感器      | 68 |
| 3.7.4 | 气体传感器      | 68 |
| 3.7.5 | 味觉传感器      | 68 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 3.7.6 | GPS 接收机 .....            | 69  |
| 3.8   | 智能机器人多传感器融合 .....        | 70  |
| 3.8.1 | 多传感器信息融合过程 .....         | 70  |
| 3.8.2 | 多传感器融合算法 .....           | 71  |
| 3.8.3 | 多传感器融合在机器人领域的应用 .....    | 72  |
| 第 4 章 | 智能机器人的通信系统 .....         | 74  |
| 4.1   | 现代通信技术 .....             | 74  |
| 4.1.1 | 基本概念 .....               | 74  |
| 4.1.2 | 相关技术简介 .....             | 77  |
| 4.2   | 机器人通信系统 .....            | 78  |
| 4.2.1 | 移动机器人通信的特点 .....         | 78  |
| 4.2.2 | 移动机器人通信系统的评价指标 .....     | 78  |
| 4.2.3 | 移动机器人通信系统设计 .....        | 79  |
| 4.3   | 多机器人通信 .....             | 80  |
| 4.3.1 | 多机器人通信模式 .....           | 80  |
| 4.3.2 | 多机器人通信模型 .....           | 81  |
| 4.4   | 多机器人通信举例 .....           | 82  |
| 4.4.1 | 基于计算机网络的机器人通信 .....      | 82  |
| 4.4.2 | 集控式机器人足球通信系统 .....       | 83  |
| 4.4.3 | 基于 Ad Hoc 网络的机器人通信 ..... | 83  |
| 第 5 章 | 智能机器人的视觉技术 .....         | 85  |
| 5.1   | 机器视觉基础理论 .....           | 85  |
| 5.1.1 | 理论体系 .....               | 85  |
| 5.1.2 | 关键问题 .....               | 86  |
| 5.2   | 成像几何基础 .....             | 87  |
| 5.2.1 | 基本术语 .....               | 87  |
| 5.2.2 | 透视投影 .....               | 89  |
| 5.2.3 | 平行投影 .....               | 90  |
| 5.2.4 | 视觉系统坐标变换 .....           | 91  |
| 5.2.5 | 射影变换 .....               | 93  |
| 5.3   | 图像的获取和处理 .....           | 94  |
| 5.3.1 | 成像模型 .....               | 94  |
| 5.3.2 | 图像处理 .....               | 97  |
| 5.4   | 智能机器人的视觉传感器 .....        | 100 |
| 5.4.1 | 照明系统 .....               | 100 |
| 5.4.2 | 光学镜头 .....               | 100 |
| 5.4.3 | 摄像机 .....                | 102 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 5.4.4 | 图像处理器                   | 103 |
| 5.5   | 智能机器人视觉系统               | 104 |
| 5.5.1 | 智能机器人视觉系统构成             | 104 |
| 5.5.2 | 单目视觉                    | 105 |
| 5.5.3 | 立体视觉                    | 106 |
| 5.5.4 | 主动视觉与被动视觉               | 109 |
| 5.5.5 | 移动机器人系统实例               | 109 |
| 5.6   | 视觉跟踪                    | 111 |
| 5.6.1 | 视觉跟踪系统                  | 111 |
| 5.6.2 | 基于对比度分析的目标追踪            | 113 |
| 5.6.3 | 光流法                     | 114 |
| 5.6.4 | 基于匹配的目标跟踪               | 115 |
| 5.6.5 | Mean Shift 目标跟踪         | 116 |
| 5.7   | 主动视觉                    | 119 |
| 5.8   | 视觉伺服                    | 120 |
| 5.8.1 | 视觉伺服系统的分类               | 120 |
| 5.8.2 | 视觉伺服的技术问题               | 122 |
| 5.9   | 视觉导航                    | 123 |
| 5.9.1 | 视觉导航中的摄像机类型             | 123 |
| 5.9.2 | 视觉导航中的摄像机数目             | 123 |
| 5.9.3 | 视觉导航中的地图依赖性             | 124 |
| 第6章   | 智能机器人的语音合成与识别           | 126 |
| 6.1   | 语音合成的基础理论               | 126 |
| 6.1.1 | 语音合成分类                  | 127 |
| 6.1.2 | 常用语音合成技术                | 127 |
| 6.2   | 语音识别的基础理论               | 131 |
| 6.2.1 | 语音识别基本原理                | 131 |
| 6.2.2 | 语音识别预处理                 | 132 |
| 6.2.3 | 语音识别的特征参数提取             | 134 |
| 6.2.4 | 模型训练和模式匹配               | 136 |
| 6.3   | 智能机器人的语音定向与导航           | 138 |
| 6.3.1 | 基于麦克风阵列的声源定位系统          | 139 |
| 6.3.2 | 基于人耳听觉机理的声源定位系统         | 139 |
| 6.4   | 智能机器人的语音系统实例            | 140 |
| 6.4.1 | Inter Phonic 6.5 语音合成系统 | 140 |
| 6.4.2 | 嵌入式语音合成解决方案             | 141 |
| 6.4.3 | Inter Reco 语音识别系统       | 142 |
| 6.4.4 | 嵌入式轻量级语音识别软件 Aitalk     | 143 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第 7 章 智能机器人自主导航与路径规划  | 144 |
| 7.1 概述                | 144 |
| 7.1.1 导航系统分类          | 144 |
| 7.1.2 导航系统体系结构        | 145 |
| 7.2 环境地图的表示           | 146 |
| 7.2.1 拓扑图             | 146 |
| 7.2.2 特征图             | 146 |
| 7.2.3 网格图             | 147 |
| 7.2.4 直接表征法           | 147 |
| 7.3 定位                | 147 |
| 7.3.1 相对定位            | 147 |
| 7.3.2 绝对定位            | 149 |
| 7.3.3 基于概率的绝对定位       | 150 |
| 7.4 路径规划              | 153 |
| 7.4.1 路径规划分类          | 153 |
| 7.4.2 路径规划方法          | 154 |
| 7.5 人工势场法             | 157 |
| 7.5.1 人工势场法基本思想       | 157 |
| 7.5.2 势场函数的构建         | 157 |
| 7.5.3 人工势场法的特点        | 159 |
| 7.5.4 人工势场法的改进        | 160 |
| 7.5.5 仿真分析            | 160 |
| 7.6 栅格法               | 162 |
| 7.6.1 用栅格表示环境         | 162 |
| 7.6.2 基于栅格地图的路径搜索     | 163 |
| 7.6.3 栅格法的特点          | 163 |
| 7.7 移动机器人的同步定位与地图构建   | 164 |
| 7.7.1 SLAM 的基本问题      | 164 |
| 7.7.2 移动机器人 SLAM 系统模型 | 164 |
| 7.7.3 移动机器人 SLAM 解决方法 | 165 |
| 7.7.4 SLAM 的难点和技术关键   | 168 |
| 第 8 章 无线传感器网络与智能机器人   | 170 |
| 8.1 无线传感器网络的基本理论      | 170 |
| 8.1.1 无线传感器网络的体系结构    | 170 |
| 8.1.2 无线传感器网络的特点      | 172 |
| 8.1.3 无线传感器网络关键技术     | 174 |
| 8.1.4 无线传感器网络的应用      | 177 |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 8.2    | 移动机器人与 WSN 结合 .....       | 178 |
| 8.2.1  | 必要性分析 .....               | 178 |
| 8.2.2  | 可行性分析 .....               | 178 |
| 8.3    | 无线传感器网络在移动机器人系统中的应用 ..... | 179 |
| 8.3.1  | WSN 的节点相对定位 .....         | 179 |
| 8.3.2  | 基于 WSN 的移动机器人自主导航 .....   | 183 |
| 8.4    | 移动机器人在无线传感器网络中的应用 .....   | 185 |
| 8.4.1  | 移动传感器网络 .....             | 185 |
| 8.4.2  | 移动机器人在无线传感器网络中应用功能 .....  | 185 |
| 8.4.3  | 移动传感器网络需要解决的问题 .....      | 186 |
| 第 9 章  | 多机器人系统 .....              | 187 |
| 9.1    | 智能体与多智能体系统 .....          | 187 |
| 9.1.1  | Agent 的体系结构 .....         | 187 |
| 9.1.2  | 多 Agent 系统相关概念 .....      | 188 |
| 9.1.3  | 多智能体系统的体系结构 .....         | 189 |
| 9.2    | 多机器人系统 .....              | 190 |
| 9.2.1  | 多机器人系统的简介 .....           | 190 |
| 9.2.2  | 多机器人系统研究内容 .....          | 192 |
| 9.2.3  | 多机器人系统应用领域及发展趋势 .....     | 195 |
| 9.3    | 多机器人系统实例:多机器人编队导航 .....   | 196 |
| 9.3.1  | 多机器人编队导航简介 .....          | 196 |
| 9.3.2  | 多机器人编队导航模型 .....          | 197 |
| 9.3.3  | 多机器人编队的应用 .....           | 198 |
| 第 10 章 | “未来之星”智能机器人实践平台 .....     | 200 |
| 10.1   | “未来之星”组成架构 .....          | 200 |
| 10.1.1 | 硬件系统 .....                | 200 |
| 10.1.2 | 软件系统 .....                | 203 |
| 10.2   | 机器人的信息感知与融合 .....         | 205 |
| 10.2.1 | 超声波传感器 .....              | 205 |
| 10.2.2 | 陀螺仪和倾角计 .....             | 206 |
| 10.2.3 | 其他传感器 .....               | 209 |
| 10.3   | 目标检测与跟踪实验 .....           | 210 |
| 10.3.1 | 实验目的 .....                | 210 |
| 10.3.2 | 实验基本理论 .....              | 210 |
| 10.3.3 | 实验内容 .....                | 213 |
| 10.4   | 基于语音远程控制的简单路径行走实验 .....   | 214 |
| 10.4.1 | 实验目的 .....                | 214 |

|                   |                             |            |
|-------------------|-----------------------------|------------|
| 10.4.2            | 实验基本理论 .....                | 215        |
| 10.4.3            | 实验内容 .....                  | 218        |
| <b>第 11 章</b>     | <b>FIRA 机器人足球比赛平台 .....</b> | <b>220</b> |
| 11.1              | 机器人足球比赛介绍 .....             | 220        |
| 11.1.1            | RoboCup 比赛 .....            | 220        |
| 11.1.2            | FIRA 机器人足球比赛 .....          | 221        |
| 11.2              | FIRA 半自主机器人足球比赛系统概况 .....   | 222        |
| 11.2.1            | AndroSot .....              | 222        |
| 11.2.2            | MiroSot .....               | 223        |
| 11.3              | FIRA 半自主机器人足球比赛关键技术 .....   | 224        |
| 11.3.1            | 视觉系统 .....                  | 224        |
| 11.3.2            | 通信系统 .....                  | 227        |
| 11.3.3            | 运动系统 .....                  | 228        |
| 11.3.4            | 决策子系统 .....                 | 231        |
| 11.4              | MiroSot 机器人足球比赛实践 .....     | 234        |
| 11.4.1            | 系统硬件调试 .....                | 234        |
| 11.4.2            | 系统的人机交互界面 .....             | 236        |
| 11.4.3            | 视觉控制面板 .....                | 237        |
| 11.4.4            | 决策控制面板 .....                | 241        |
| 11.4.5            | 软件连接控制面板 .....              | 243        |
| <b>参考文献</b> ..... |                             | <b>248</b> |

“robot”一词源于捷克语“robota”，意为“强迫劳动”。1920年，捷克斯洛伐克作家萨佩克在《洛桑万能机器人公司》剧本中把在洛桑万能机器人公司生产劳动的那些家伙取名“Robot”（捷克语意为“奴隶”）。

机器人技术涉及机械、电子、计算机、材料、传感器、控制技术、人工智能、仿生学等多门科学，机器人的发展是目前科技发展最活跃的领域之一。发展应用机器人的目的在于：

- (1) 提高生产效率，降低人的劳动强度。
- (2) 机器人做人不愿意做或做不好的事。
- (3) 机器人做人做不了的事情。

## 1.1 机器人的定义

### 1.1.1 机器人三定律

1942年，美国科幻巨匠阿西莫夫提出的“机器人三定律”虽只是科幻小说里的创造，但已成为学术界默认的研发原则：

- (1) 机器人不得伤害人，也不得见人受到伤害而袖手旁观。
- (2) 机器人应服从人的一切命令，但不得违反第一定律。
- (3) 机器人应保护自身的安全，但不得违反第一、第二定律。

### 1.1.2 机器人各种定义

(1) 美国机器人协会(RIA)曾把机器人定义为一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过可编程序动作来执行种种任务的，并具有编程能力的多功能机械手。

(2) 日本工业机器人协会(JIRA)把工业机器人定义为一种装备有记忆装置和末端执行器(end effector)的，能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器。

(3) 美国国家标准局(NBS)定义机器人是一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置。

(4) 国际标准化组织(ISO)把机器人定义为：机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行种种任务。

(5) 蒋新松院士言简意赅地把机器人定义为一种拟人功能的机械电子装置。

## 1.2 机器人的产生与发展

1948年,诺伯特·维纳出版《控制论》,阐述了机器中的通信和控制机能与人的神经、感觉机能的共同规律,率先提出以计算机为核心的自动化工厂。1980年后,各种用途的机器人广泛应用到了工业生产中。1990年开始,机器人开始面向服务业并走向家庭。现代机器人技术发展大事年表可总结如下:

(1) 1948年,美国原子能委员会的阿尔贡研究所开发了机械式的主从机械手。

(2) 1952年,第一台数控机床的诞生,为机器人的开发奠定了基础。

(3) 1954年,美国德沃尔最早提出了工业机器人的概念,并申请了专利。

(4) 1956年,在达特茅斯会议上,马文·明斯基提出了他对智能机器的看法:“智能机器能够创建周围环境的抽象模型,如果遇到问题,能够从抽象模型中寻找解决方法”。这个定义影响到以后30年智能机器人的研究方向。

(5) 1959年,德沃尔和英格伯格联手制造出第一台工业机器人。随后,成立了世界上第一家机器人制造工厂——Unimation公司。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传,他也被称为“工业机器人之父”。

(6) 1962年,美国AMF公司生产出“VERSTRAN”(意思是万能搬运),与Unimation公司生产的Unimate一样成为真正商业化的工业机器人,并出口到世界各国,掀起了全世界对机器人和机器人研究的热潮。

(7) 1962~1963年,传感器的应用提高了机器人的可操作性。人们试着在机器人上安装各种各样的传感器,包括1961年恩斯特采用的触觉传感器,托莫维奇和博尼1962年在世界上最早的“灵巧手”上用到了压力传感器,而麦卡锡1963年则开始在机器人中加入视觉传感系统,并在1965年,帮助MIT推出了世界上第一个带有视觉传感器,能识别并定位积木的机器人系统。

(8) 1965年,约翰·霍普金斯大学应用物理实验室研制出Beast机器人。Beast已经能通过声呐系统、光电管等装置,根据环境校正自己的位置。20世纪60年代中期开始,美国麻省理工学院、斯坦福大学、英国爱丁堡大学等陆续成立了机器人实验室。美国兴起研究第二代带传感器、“有感觉”的机器人,并向人工智能进发。

(9) 1968年,美国斯坦福研究所公布他们研发成功的机器人Shakey。它带有视觉传感器,能根据人的指令发现并抓取积木,不过控制它的计算机有一个房间那么大。Shakey可以算是世界上第一台智能机器人,拉开了第三代机器人研发的序幕。

(10) 1969年,日本早稻田大学加藤一郎实验室研发出第一台以双脚走路的机器人。加藤一郎长期致力于研究仿人机器人,被誉为“仿人机器人之父”。日本专家一向以研发仿人机器人和娱乐机器人的技术见长,后来更进一步,催生出本田公司的ASIMO和索尼公司的QRIO。

(11) 1973年,世界上第一次机器人和小型计算机携手合作,就诞生了美国Cincinnati Milacron公司的机器人T3。

(12) 1978年,美国Unimation公司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。PUMA至今仍然工作在工厂第一线。

(13) 1984年,恩格尔伯格再推出机器人 Helpmate,这种机器人能在医院里为病人送饭、送药、送邮件。同年,他还预言:“我要让机器人擦地板,做饭,出去帮我洗车,检查安全”。

(14) 1998年,丹麦乐高公司推出头脑风暴(Mind-storms)套件,这套相对简单又能任意拼装的套件也可以制作一些简单的机器人,使机器人开始走入个人世界。

(15) 1999年,日本索尼公司推出犬型机器人爱宝(AIBO),当即销售一空,从此娱乐机器人成为目前机器人迈进普通家庭的途径之一。

(16) 2002年,美国 iRobot 公司推出了吸尘器机器人 Roomba,它能避开障碍,自动设计行进路线,还能在电量不足时,自动驶向充电座。Roomba 是目前世界上销量最大、最商业化的家用机器人。

(17) 2006年6月,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。

## 1.3 智能机器人的体系结构

机器人现在已被广泛地用于生产和生活的许多领域,按其拥有智能的水平可以分为三个层次:

(1) 示教再现型。示教再现型机器人只能死板地按照人给它规定的程序工作,不管外界条件有何变化,自己都不能对程序也就是对所做的工作作相应的调整。如果要改变机器人所做的工作,必须由人对程序做相应的改变,因此它是毫无智能的。

(2) 感觉型。感觉型机器人可以根据外界条件的变化,在一定范围内自行修改程序,也就是它能适应外界条件变化对自己作相应调整。不过,修改程序的原则由人预先给予规定。感觉型机器人拥有初级智能水平,没有自动规划能力,目前已走向成熟,达到实用水平。

(3) 智能型。高级智能机器人已拥有一定的自动规划能力,能够自己安排自己的工作。这种机器人可以不要人的照料,完全独立地工作,故称为高级自律机器人。

智能机器人体系结构是机器人智能的逻辑载体,是指智能机器人系统中智能、行为、信息、控制的时空分布模式。选择合适的体系结构是机器人研究中最基础也非常关键的一个环节,它要求把感知、建模、规划、决策、行动等多种模块有机地结合起来,从而在动态环境中完成目标任务。

### 1.3.1 程控架构

程控架构,又称规划式架构。它根据给定初始状态和目标状态给出一个行为动作的序列,按部就班地执行。程序序列中可采用“条件判断+跳转”的方法,根据传感器的反馈情况对控制策略进行调整。

集中式程控架构的优点是系统结构简单明了,所有逻辑决策和计算均在集中式的控制器中完成。这种架构清晰,显然控制器是大脑,其他的部分不需要有处理能力。设计者在机器人工作前预先设计好最优策略让机器人开始工作,工作过程中只需要处理一些可以预料到的异常事件。

但是,对于设计一个在房间里漫游的移动机器人时,若其房间的大小未知,无法准确地

得到机器人在房间中的相对位置的情况下,程控式控制架构就很难适应了。

### 1.3.2 分层递阶架构

分层递阶架构,又称为慎思式架构。分层递阶架构是随着分布式控制理论和技术的发展而发展起来的。分布式控制通常由一个或多个主控制器和很多个节点组成,主控制器和节点均具有处理能力。主控制器可以比较弱,大部分的非符号化信息在其各自的节点被处理、符号化后,再传递给主控制器来进行决策判断。

Saridis 在 1979 年提出,智能控制系统必然是分层递阶结构。这种结构基于认知的人工智能(Artificial Intelligence, AI)模型,因此也称之为基于知识的架构。

#### 1. 分层递阶结构的信息流程

信息流程是从低层传感器开始,经过内外状态的形势评估、归纳,逐层向上,且在高层进行总体决策;高层接受总体任务,根据信息系统提供的信息进行规划,确定总体策略,形成宏观命令,再经协调级的规划设计,形成若干子命令和工作序列,分配给各个执行器加以执行,如图 1.1 所示。

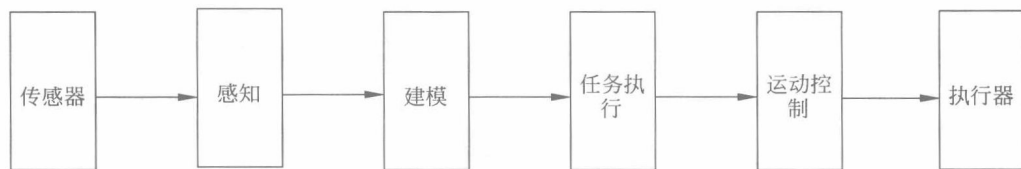


图 1.1 传感器信息流程图

#### 2. 分层递阶结构的特点

(1) 遵循“感知—思维—行动”的基本规律,较好地解决了智能和控制精度的问题。层次向上,智能增加,精度降低;层次向下,智能降低,精度增加。

(2) 输入环境的信息通过信息流程的所有模块,往往是将简单问题复杂化,影响了机器人对环境变化的响应速度。

(3) 各模块串行连接,其中任何一个模块的故障直接影响整个系统的功能。

### 1.3.3 包容式架构

包容式架构,又称为基于行为、基于情境的结构,是一种典型的反应式结构。1986 年,美国麻省理工学院的 R. Brooks 以移动机器人为背景,提出了这种依据行为来划分层次和构造模块的反应式结构。Brooks 认为机器人行为的复杂性反映了其所处环境的复杂性,而非机器人内部结构的复杂性。

#### 1. 包容结构的信息流程

如前所述,分层式体系结构把系统分解成功能模块,是一种按照“感知—规划—行动(Sense-Planning-Action, SPA)”过程进行构造的串行结构。

如图 1.2 所示,包容式体系结构是一种完全的反应式体系结构,是基于感知与行为(Sense-Action, SA)之间映射关系的并行结构。包容结构中每个控制层直接基于传感器的输入进行决策,在其内部不维护外界环境模型,可以在完全陌生的环境中进行操作。

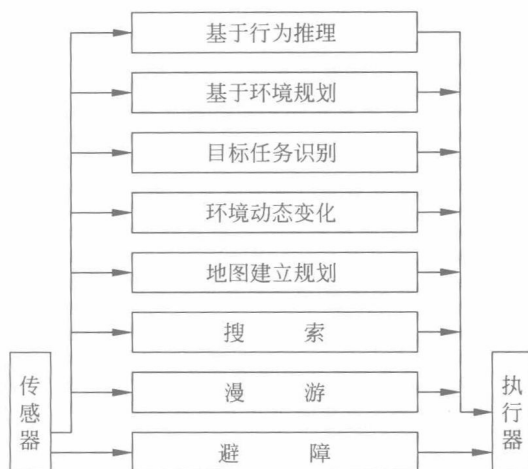


图 1.2 包容式体系结构

## 2. 包容结构的特点

(1) 包容结构中没有环境模型,模块之间信息流的表示也很简单,反应性非常好,其灵活的反应行为体现了一定的智能特征。包容结构不存在中心控制,各层间的通信量极小,可扩充性好。多传感信息各层独自处理,增加了系统的鲁棒性,同时起到了稳定可靠的作用。

(2) 包容结构过分强调单元的独立、平行工作,缺少全局的指导和协调,虽然在局部行动上可显示出很灵活的反应能力和鲁棒性,但是对于长远的、全局性的目标跟踪显得缺少主动性,目的性较差,而且人的经验、启发性知识难以加入,限制了人的知识和应用。

### 1.3.4 混合式架构

包容式架构机器人提供了一个高鲁棒性、高适应能力和对外界信息依赖更少的控制方法。但是它的致命问题是效率。因此对于一些复杂的情况,需要融合应用程控架构、分层递阶和包容式架构。

Gat 提出了一种混合式的三层体系结构,分别是反应式的反馈控制层(Controllor)、反应式的规划-执行层(Sequencer)和规划层(Deliberator)。混合式架构在较高级的决策层面采用程控架构,以获得较好的目的性和效率;在较低级的反应层面采用包容式架构,以获得较好的环境适应能力、鲁棒性和实时性。

### 1.3.5 分布式结构

1998 年, Piaggio 提出一种称为 HEIR(Hybrid experts in intelligent robots)的非层次的分布式结构。

#### 1. 分布式结构的信息流程

分布式结构由符号组件(S)、图解组件(D)和反应组件(R)三部分组成,如图 1.3 所示。每个组件处理不同类型知识,是一个由多个具有特定认知功能、可以并发执行的 Agent 构成的专家组。各组件相互间通过信息交换进行协调,没有层次高低之分,自主地、并发地工作。

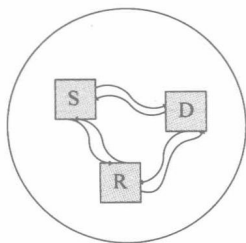


图 1.3 分布式结构

## 2. 分布式体系结构的特点

(1) 突破了以往智能机器人体系结构中层次框架的分布模式,各个 Agent 具有极大的自主性和良好的交互性,这使得智能、行为、信息和控制的分布表现出极大的灵活性和并行性。

(2) 对于系统任务,每个 Agent 拥有不全面的信息或能力,应保证 Agent 成员之间以及与系统的目标、意愿和行为的一致性,建立必要的集中机制,解决分散资源的有效共享、冲突的检测和协调等问题。

(3) 更多地适用于多机器人群体。

### 1.3.6 进化控制结构

将进化计算理论与反馈控制理论相结合,形成了一个新的智能控制方法——进化控制。它能很好地解决移动机器人的学习与适应能力方面的问题。2000 年,蔡自兴提出了基于功能/行为集成的自主式移动机器人进化控制体系结构。

整个体系结构包括进化规划与行为控制两大模块,如图 1.4 所示,这种综合的体系结构

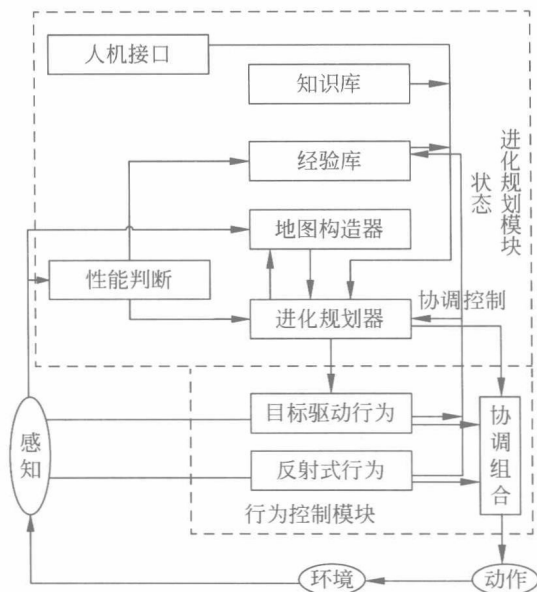


图 1.4 进化式控制结构