

MACHINE INTELLIGENCE

ARTIFICIAL AFFECTIVE COMPUTING

机器智能

人工情感

解仑 王志良 / 编著



本书面向人工心理和情感机器人等前沿领域，
讨论了情感机器人的起源及发展、机械头及身躯设计、表情控制模式、
电动机控制、机器视觉、人机交互与合作、软件集成、数据库及知识库技术、
情感模型与机器学习等方面的研究理论、技术与应用方法。

 智能制造与装备制造业转型升级丛书

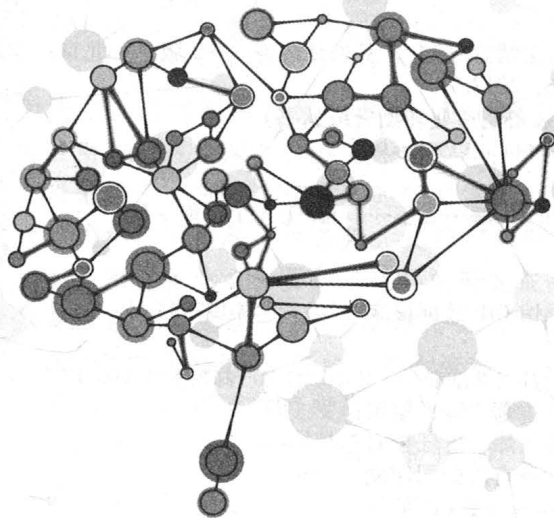
MACHINE INTELLIGENCE

ARTIFICIAL AFFECTIVE COMPUTING

机器智能

人工情感

解仑 王志良 / 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书面向人工心理和情感机器人等前沿领域，讨论了情感机器人表情控制和机械结构设计的理论、技术及其应用的若干方面，主要包括机器人的起源及发展、情感机器人研究历程及相关理论和关键技术、机械头及身躯设计、表情控制模式、电动机控制、机器视觉、人机交互与合作、软件集成、数据库及知识库技术、情感模型和机器学习等方面的研究理论、技术与应用方法，取材新颖，内容深入浅出，材料丰富，理论与实际紧密联系，具有较好的创新性和学术参考价值。

本书可以作为高等院校相关专业高年级本科生或研究生的教材及参考用书，也可供从事计算机、自动化、电子信息、模式识别、智能科学、人机交互技术等领域的教师和科研工作者参考。

图书在版编目（CIP）数据

机器智能：人工情感/解仑，王志良编著. —2版. —北京：机械工业出版社，2017.7
（智能制造与装备制造业转型升级丛书）
ISBN 978-7-111-57500-9

I. ①机… II. ①解…②王… III. ①人工智能-研究 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第177955号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：罗莉 责任编辑：罗莉
责任印制：孙炜 责任校对：胡艳萍
北京振兴源印务有限公司印刷
2017年8月第2版·第1次印刷
184mm×260mm·14.5印张·349千字
0001-3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-57500-9
定价：79.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

前 言

随着计算机科学、脑科学、心理学、认知科学的蓬勃发展，以及人们日益增长的物质文化生活需求，越来越多的交叉学科引起了科研工作者的重视。特别是在国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中，强调“以人为中心”的信息技术发展需要，自此，大量科研工作者便投身到人工心理、情感机器人以及虚拟现实的交叉合作领域之中。针对以上学科发展需求，本书较为全面地介绍了情感机器人的基本概念、主要内容和应用领域，并对其研究方法和相关技术进行了讨论。以国内外研究发展前沿为基础，重点探讨了情感机器人的总体体系结构及相关的软硬件设计，并给出智能家居系统、虚拟管家系统和服务机器人的具体应用实例。

本书的研究内容具有典型的交叉性，涉及心理学、认知科学、智能科学、自动控制、计算机智能、机械设计等多个学科领域。全书共分11章。第1章介绍了机器人及情感机器人的起源、发展研究历程及其相关理论和关键技术；第2章介绍了机器人头及身躯的设计与实现技术；第3、4章介绍了机器人的表情控制模式和电控设计；第5章~第10章探讨了与情感机器人相关的多种软件技术及其相关的智能技术；第11章分析了情感机器人应用的若干实例。

本书的学术观点较为先进，内容新颖，材料丰富，理论与实际应用紧密联系，结构合理，从基础理论与技术向应用方法逐步深入，具有一定的理论价值与实际应用意义。读者既可以从把握本领域的前沿进展，也可以选择需要的研究方向进行深入学习。

在此感谢北京科技大学提供的科研和工作条件，使我们顺利地完成了其中的科研工作。我们尤其要感谢韩晶、李敏嘉研究生为本书贡献了重要的研究成果。

感谢国家自然科学基金项目（课题编号：61672093、61432004）、国家重点研发计划重点专项课题（课题编号：2016YFB1001404）等的支持和资助。

本书内容涉及多个学科前沿，知识面较为广泛，作者的认识领悟能力有限，书中有些观点和见解难免有不妥之处，敬请各位专家及广大读者给予批评指正。

作 者
于北京科技大学

目 录

前言

第 1 章 绪论 ····· 1

1.1 机器人的起源与发展史 ····· 2

1.1.1 机器人的起源 ····· 2

1.1.2 机器人的发展史 ····· 2

1.2 情感机器人研究历程 ····· 4

1.2.1 物理机器人的发展现状 ····· 4

1.2.2 虚拟机器人的发展现状 ····· 8

1.3 相关理论及关键技术 ····· 9

1.3.1 情感计算、感性工学及 人工心理 ····· 9

1.3.2 关键技术及主要内容 ····· 13

参考文献 ····· 16

第 2 章 机器人头及身躯设计 ····· 18

2.1 情感机器人的头部设计 ····· 18

2.1.1 总体方案 ····· 19

2.1.2 人体头部运动与面部肌肉 分析 ····· 19

2.2 表情头的实现 ····· 22

2.2.1 标准件的选取 ····· 22

2.2.2 结构设计 ····· 23

2.2.3 动作设计 ····· 24

2.2.4 面皮及面部支撑壳的制作 ····· 26

2.2.5 其他附件 ····· 28

2.2.6 运动学仿真 ····· 28

2.3 身躯设计 ····· 35

2.3.1 主要研究问题 ····· 35

2.3.2 腰臂机构的设计 ····· 38

2.4 手臂设计 ····· 40

2.4.1 碰撞分析的简化 ····· 40

2.4.2 双臂碰撞模型 ····· 42

2.4.3 算法的流程图 ····· 42

2.4.4 手臂避障仿真 ····· 42

2.4.5 优点及发展趋势 ····· 46

参考文献 ····· 47

第 3 章 表情控制模式 ····· 48

3.1 面部动作编码系统 ····· 48

3.1.1 概述 ····· 48

3.1.2 主要内容 ····· 49

3.2 控制器的设计与制作 ····· 51

3.2.1 总体结构 ····· 51

3.2.2 下位机控制 ····· 52

3.3 面部表情仿真 ····· 55

3.4 面部表情调试 ····· 58

参考文献 ····· 59

第 4 章 电动机控制 ····· 60

4.1 电动机的基本概念 ····· 60

4.2 舵机的选择 ····· 61

4.2.1 舵机的结构 ····· 61

4.2.2 舵机的工作原理 ····· 62

4.2.3 舵机的注意事项 ····· 62

4.2.4 直流电动机的选择 ····· 63

4.3 舵机驱动控制模块 ····· 64

4.3.1 驱动电路模块 ····· 65

4.3.2 舵机的控制 ····· 65

4.4 舵机在情感机器人中的应用 ····· 70

4.4.1 下位机控制 ····· 70

4.4.2 上位机控制软件 ····· 70

参考文献 ····· 72

第 5 章 机器视觉 ····· 73

5.1 机器视觉概述 ····· 73

5.1.1 Marr 的计算机视觉理论框架 ····· 73

5.1.2 应用范围及前景 ····· 74

5.2 机器视觉系统标定算法 ····· 74

5.2.1 角点提取 ····· 74

5.2.2 SUSAN 算法原理 ····· 74

5.2.3 改进的 SUSAN 算法 ····· 75

5.2.4 标定算法 ····· 75

5.2.5 空间点的三维坐标	76	7.3.3 人脸识别模块设计	122
5.3 摄像机标定技术	77	7.3.4 动作行为模块设计	125
5.3.1 摄像机成像模型	77	7.3.5 网络功能模块设计	128
5.3.2 标定摄像机参数	80	7.4 软件平台的实现	129
5.3.3 实验结果	81	7.4.1 总体架构与模块化编程	129
5.4 双目追踪系统的标定	83	7.4.2 各个功能模块的具体实现	130
5.4.1 双摄像机标定	84	7.4.3 故障检测	135
5.4.2 系统标定	84	参考文献	137
5.5 多摄像机系统标定	87	第8章 数据库技术	138
5.5.1 标定摄像机内参数和镜像 图像外参数	88	8.1 数据库基础知识	138
5.5.2 计算真实摄像机位置	88	8.2 健康数据库的设计	142
参考文献	90	8.2.1 系统目标设计	143
第6章 人机交互与合作	92	8.2.2 应用系统规划及功能结构	143
6.1 人机交互概述	92	8.2.3 系统的业务流程	143
6.1.1 人机交互的概念	92	8.2.4 系统界面设计	143
6.1.2 人机交互的发展	93	8.2.5 系统功能结构	145
6.1.3 人机交互的研究内容	93	8.2.6 数据库设计	145
6.2 人机交互技术	94	8.3 系统的主要功能模块设计与实现	147
6.2.1 语音交互技术	95	8.3.1 系统登录设计与实现	148
6.2.2 说话人识别	97	8.3.2 管理相关设计与实现	148
6.2.3 视线交互技术	104	8.3.3 统计分析模块的设计与 实现	149
6.3 人机交互系统的设计与评估	108	8.3.4 系统维护及帮助的设计与 实现	150
6.3.1 人机交互系统的设计	108	8.3.5 开发过程中应用的关键 技术	152
6.3.2 人机交互系统的评估	109	8.4 测试	153
参考文献	109	参考文献	154
第7章 软件集成	111	第9章 知识库技术	155
7.1 情感机器人体系结构规划设计	112	9.1 知识库	155
7.1.1 国内外研究现状	112	9.1.1 知识库的概念	155
7.1.2 基于人工心理认知/行为的 分层式交互机器人体系 结构	114	9.1.2 知识的概念	156
7.2 情感机器人软件平台设计	116	9.1.3 知识的分类	156
7.2.1 结构设计	116	9.1.4 知识的存在与获取	157
7.2.2 模块设计划分	117	9.1.5 知识的表示方法	158
7.2.3 人机交互界面设计	118	9.2 虚拟管家知识库实例	159
7.3 各功能模块的设计	120	9.2.1 研究意义	159
7.3.1 语音识别模块设计	120	9.2.2 功能的实现	160
7.3.2 语音合成模块设计	121	9.2.3 功能的实例	161

参考文献	164	10.3.3 实用性	193
第 10 章 情感模型和机器学习	166	10.4 基于机器学习的情感模型	202
10.1 情感模型的国内外研究现状 分析	166	参考文献	207
10.1.1 认知心理学	168	第 11 章 情感机器人实例	210
10.1.2 情绪的有限状态集与 维度空间	170	11.1 智能家居系统	210
10.1.3 认知情感计算	172	11.1.1 智能家居的设计背景	210
10.2 经典的情感计算模型	175	11.1.2 智能家居的整体设计	211
10.2.1 基于欧式空间的人工情感 模型	175	11.1.3 智能家居的工作过程	211
10.2.2 基于概率空间的 HMM 情感 建模	176	11.2 虚拟管家系统	216
10.2.3 情感计算模型的优势与 劣势	181	11.2.1 虚拟管家系统的开发背景	216
10.3 情感建模的新研究	182	11.2.2 虚拟管家系统的整体设计	216
10.3.1 普适性	182	11.2.3 虚拟管家系统功能模块 说明	218
10.3.2 个体情绪差异性	188	11.3 服务机器人	220
		11.3.1 服务机器人的开发背景	220
		11.3.2 服务机器人的整体设计	220
		11.3.3 服务机器人的功能模块 说明	222

第 1 章 绪 论

人工情感 (Artificial Emotion, AE) 是指以人类学、心理学、脑科学、认知科学、信息科学、人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 等学科为理论基础, 利用信息科学的手段对人类情感过程进行模拟、识别和理解, 使机器能够产生类人情感, 并与人类进行自然和谐的人机交互的研究领域。因此, 我们可以将具有人工情感的机器人称为情感机器人。作为机器人研究领域的新兴热点, 情感机器人 (Emotional Robot) 既是人工情感的重要研究和应用对象, 也是研究开发人工情感的高效实验和演示平台。

研究情感机器人的价值功能具体体现在界面友好性、智能效率性、行为灵活性、决策自主性、思维创造性和人际交往性等方面。同时, 情感机器人的研究也具有较大的社会影响。如在经济结构的调整方面, 当情感机器人能够参与社会事务和人际交往以后, 就会在越来越多的社会管理领域、生产领域和生活服务领域取代人类, 成为一支日趋庞大的“劳动主力军”, 从而机器人的机体制造厂、软件开发公司、程序调整中心、医院、美容店、餐馆、俱乐部、学校、托儿所、职介所等将会迅速发展起来, 社会生产结构和经济结构将会出现重大调整。此外, 情感机器人的发展对伦理观念的变迁、生活方式的变更和人机一体化的发展都有着重大影响。

目前, 有关情感机器人的研究已成为机器人研究的重点方向之一, 在国内外众多学术网站以及图书中均能查到相关参考资料, 有兴趣的读者可以从以下提示或链接中找到更多的信息与资料。

国外相关系列图书:

- ◆ 美国麻省理工学院 (MIT) Minsky 的专著《The Society of Mind (意识社会)》;
- ◆ 美国 MIT 媒体实验室 R. Picard 的专著《Affective Computing (情感计算)》;
- ◆ Tom M. Mitchell 编著的《Machine Learning (机器学习)》;
- ◆ 由 A. Ortony、G. Clore、A. Collins 编著的《情感的认知结构》;
- ◆ Paul Ekman 的《Telling Lies》;
- ◆ 苏联教育部批准的心理学科教科书《普通心理学》, 由彼得罗夫斯基编著。

国内相关系列图书:

- ◆ 北京科技大学王志良教授编写的包括《人工心理》《人工情感》和《人脸工程学》等在内的“人工心理与数字人技术丛书”;
- ◆ 史忠植研究员编写的《人工智能》;
- ◆ 心理学家曹日昌编写的《普通心理学》等。

相关的网站或网页:

- ◆ MIT 媒体实验室网站: <http://www.media.mit.edu/>;
- ◆ 有关 Kismet 的相关资料可以在 MIT 的该项目网站上查到: <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>;
- ◆ 史忠植研究员的个人网址: <http://www.intsci.ac.cn/shizz/>;

- ◆ Tom M. Mitchell 的个人网址：<http://www.cs.cmu.edu/~tom/>;
- ◆ 提出 FACS 理论的 Paul Ekman 的个人网址：<http://www.paulekman.com/>，以及《面部动作编码系统使用手册》的网址：<http://www.face-and-emotion.com/dataface/facs/description.jsp> 等。

1.1 机器人的起源与发展史

1.1.1 机器人的起源

机器人的历史可以追溯到我国的西周时期，一名叫做偃师的能工巧匠制造了一个能歌善舞的偶人，这是有据可查的第一个“机器人”。在汉朝，张衡造出了记里鼓车。三国时期的诸葛亮发明了木牛流马，用来运送粮草。在国外，公元前 2 世纪亚历山大时期，古希腊人制造出了“自动机”——以空气、水、蒸汽压力为动力的会动的雕像。这些都可以看成是广义上的机器人。

1920 年，一名捷克剧作家发表了一部名叫《罗萨姆的万能机器人》的剧本，剧本中叙述了一个叫罗萨姆的公司把机器人作为人类生产的工业品推向市场，让它充当劳动力代替人类劳动的故事，引起了人们的广泛关注。后来，这个故事就被当成为机器人在科幻和文学作品中的起源。但真正机器人的出现，则是在 1959 年，当时美国人英格伯格和德沃尔制造出了世界上第一台工业机器人，标志着机器人的正式诞生。

英格伯格和德沃尔供职于同一家汽车公司，他们认为，汽车工业最适合于机器人干活，这样不仅可以替代工人简单重复的劳动，更重要的是，它们不需要吃饭，不知疲倦，不需要报酬，而且始终任劳任怨。于是，他们分工进行研制，由英格伯格负责设计机器人的“手”“脚”“身体”，德沃尔设计“头脑”“神经系统”“肌肉系统”。这台机器人研制出来后，只有手臂功能与人相似，外形像坦克的炮塔，基座上有一个大机械臂，大臂上又伸出一个可以伸缩转动的小机械臂，能够代替人类做一些如抓放零件的简单工作。它的诞生，开创了机器人研究的新纪元。

此后，英格伯格和德沃尔创办了世界上第一家机器人制造工厂，并生产出一批名叫“尤尼梅特 (UNIMATE)”的工业机器人，从而把科幻剧本中的罗萨姆万能机器人公司从虚幻变成现实，他们也因此获得“世界工业机器人之父”的殊荣。1984 年，当英格伯格离开从事了 20 多年研究的机器人公司时，他说，如有可能，他还要改造他的“尤尼梅特”机器人，使它们能够擦地板、做饭、走到门外去洗刷汽车和进行安全检查等。

50 多年过去了，现在全世界已装备了数百万台工业机器人，它们在许多领域得到了广泛的应用，为人类的生产和生活带来了极大的方便。

机器人专家美国麻省理工学院教授约翰·菲尼克斯预言：“21 世纪人类将真正进入机器人时代，人类创造的每一份财富都将包含着机器人的功劳！”

1.1.2 机器人的发展史

直到 1959 年美国的英格伯格和德沃尔制造出世界上第一台工业机器人，现代机器人的历史才真正开始。

英格伯格在大学攻读伺服理论，这是一种研究运动机构如何才能更好地跟踪控制信号的

理论。德沃尔曾于1946年发明了一种系统，可以“重演”所记录的机器的运动。1954年，德沃尔又获得可编程机械手专利，这种机械手臂按程序进行工作，可以根据不同的工作需要编制不同的程序，具有良好的通用性和灵活性，英格伯格和德沃尔都在研究机器人，认为汽车工业最适于用机器人干活，因为是用重型机器进行工作，且生产过程较为固定。

1959年，英格伯格和德沃尔联手制造出第一台工业机器人。由英格伯格负责设计机器人的“手”“脚”“身体”，即机器人的机械部分和完成操作部分；由德沃尔设计机器人的“头脑”“神经系统”“肌肉系统”，即机器人的控制装置和驱动装置。它成为世界上第一台真正的实用工业机器人。

这种机器人外形有点像坦克炮塔，基座上有一个大机械臂，大臂可绕轴在基座上转动，大臂上又伸出一个小机械臂，它相对大臂可以伸出或缩回。小臂顶有一个腕子，可绕小臂转动，进行俯仰和侧摇。腕子前头是手，即操作器。这个机器人的功能和人的手臂功能相似，如图1-1所示。

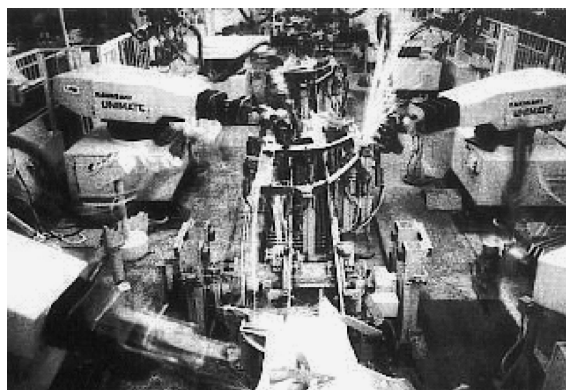


图1-1 世界上第一台工业机器人“尤尼梅特”正在生产线上工作

它成为世界上第一台真正的实用工业机器人。此后英格伯格和德沃尔成立了“Unimation”公司，兴办了世界上第一家机器人制造工厂，第一批工业机器人被称为“尤尼梅特（UNIMATE）”，意思是“万能自动”，他们也因此被称为世界工业机器人之父。1962年美国机械与铸造公司也制造出工业机器人，称为“沃尔萨特兰（VERSTRAN）”，意思是“万能搬动”。“尤尼梅特”和“沃尔萨特兰”就成为世界上最早的、至今仍在使用的工业机器人。

机器人的发展史主要分为三大阶段，如图1-2所示。

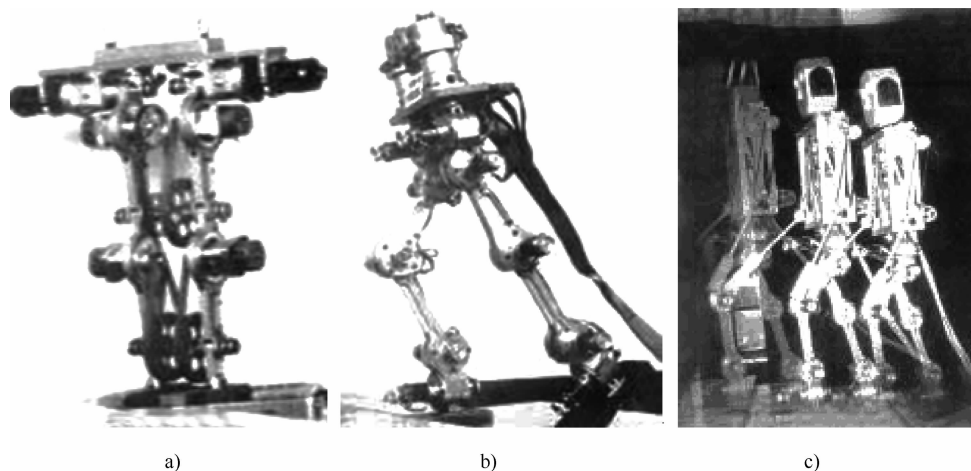


图1-2 三代机器人示例
a) 第一代机器人（机械臂） b) 第二代机器人 c) 第三代机器人

1. 第一代机器人

第一代是示教再现型机器人，“尤尼梅特”和“沃尔萨特兰”这两种最早的工业机器人是示教再现型机器人的典型代表。它由人操纵机械手做一遍应当完成的动作或通过控制器发出指令让机械手臂动作，在动作过程中机器人会自动将这一过程存入记忆装置。当机器人工作时，能再现人教给它的动作，并能自动重复地执行。这类机器人不具有外界信息的反馈能力，很难适应变化的环境。英格伯格和德沃尔制造的工业机器人是第一代机器人，属于示教再现型，即人手把着机械手，把应当完成的任务做一遍，或者人用“示教控制盒”发出指令，让机器人的机械手臂运动，一步一步完成它应当完成的各个动作。

2. 第二代机器人

第二代是有感觉的机器人，它们对外界环境有一定感知能力，并具有听觉、视觉、触觉等功能。机器人工作时，根据感觉器官（传感器）获得的信息，灵活调整自己的工作状态，保证在适应环境的情况下完成工作。如有触觉的机械手可轻松自如地抓取鸡蛋，具有嗅觉的机器人能分辨出不同的饮料和酒类。

3. 第三代机器人

第三代机器人是智能机器人，它不仅具有感觉能力，而且还具有独立判断和行动的能力，并具有记忆、推理和决策的能力，能够完成更加复杂的动作。中央电脑控制手臂和行走装置，使机器人的手完成作业，脚完成移动，机器人能够用自然语言与人对话。智能机器人的“智能”特征就在于它具有与外部世界——对象、环境和人相适应、相协调的工作机能。从控制方式看，智能机器人不同于工业机器人的“示教、再现”，不同于遥控机器人的“主—从操纵”，而是以一种“认知—适应”的方式自主地进行操作。

智能机器人在发生故障时，通过自我诊断装置能自我诊断出故障部位，并能自我修复。如今，智能机器人的应用范围已经极大地扩展了，除工农业生产外，机器人还应用到很多行业，已具备了人类的特点。机器人向着智能化、拟人化方向发展的道路，是没有止境的。

1.2 情感机器人研究历程

情感机器人（Emotional Robotics）是指用人工的方法和技术，模仿、延伸和扩展人的情感，使机器具有识别、理解和表达情感的能力。具有情感的机器人必须具有智能化的特点，那就需要具备以下几种特殊的能力：即学习知识的能力；使用知识的能力；运算知识的能力。情感机器人是近年来机器人研究领域兴起的一个新的研究热点。情感机器人既是人工心理和人工情感的重要研究和应用对象，也是研究开发人工情感的高效实验和演示平台。情感机器人的研究方向主要可以分为两大类，一类是研究具有情感的物理机器人，另一类是研究具有情感的虚拟机器人。这两种研究方向的理论与技术相辅相成，共同促进情感机器人向着广、深、远的方向发展。

1.2.1 物理机器人的发展现状

世界各国的实验室都在这一领域展开研究，如日内瓦大学 Klaus Scherer 领导的情感研究实验室、布鲁塞尔自由大学 D. Canamero 领导的情感机器人研究小组及英国伯明翰大学 A. Sloman 领导的 Cognition and Affect Project（认知与情感研究项目）等。我国对这一领域的

研究始于 20 世纪 90 年代，主要针对人工情感单元理论与技术实现开展研究，如多功能感知机器人，主要包括表情识别、人脸识别、人脸检测与跟踪、手语识别、表情合成、唇读等基于人工情感的机器人控制体系结构的研究。图 1-3 所示为对国内外具有情感的物理机器人的研究之路的梳理。

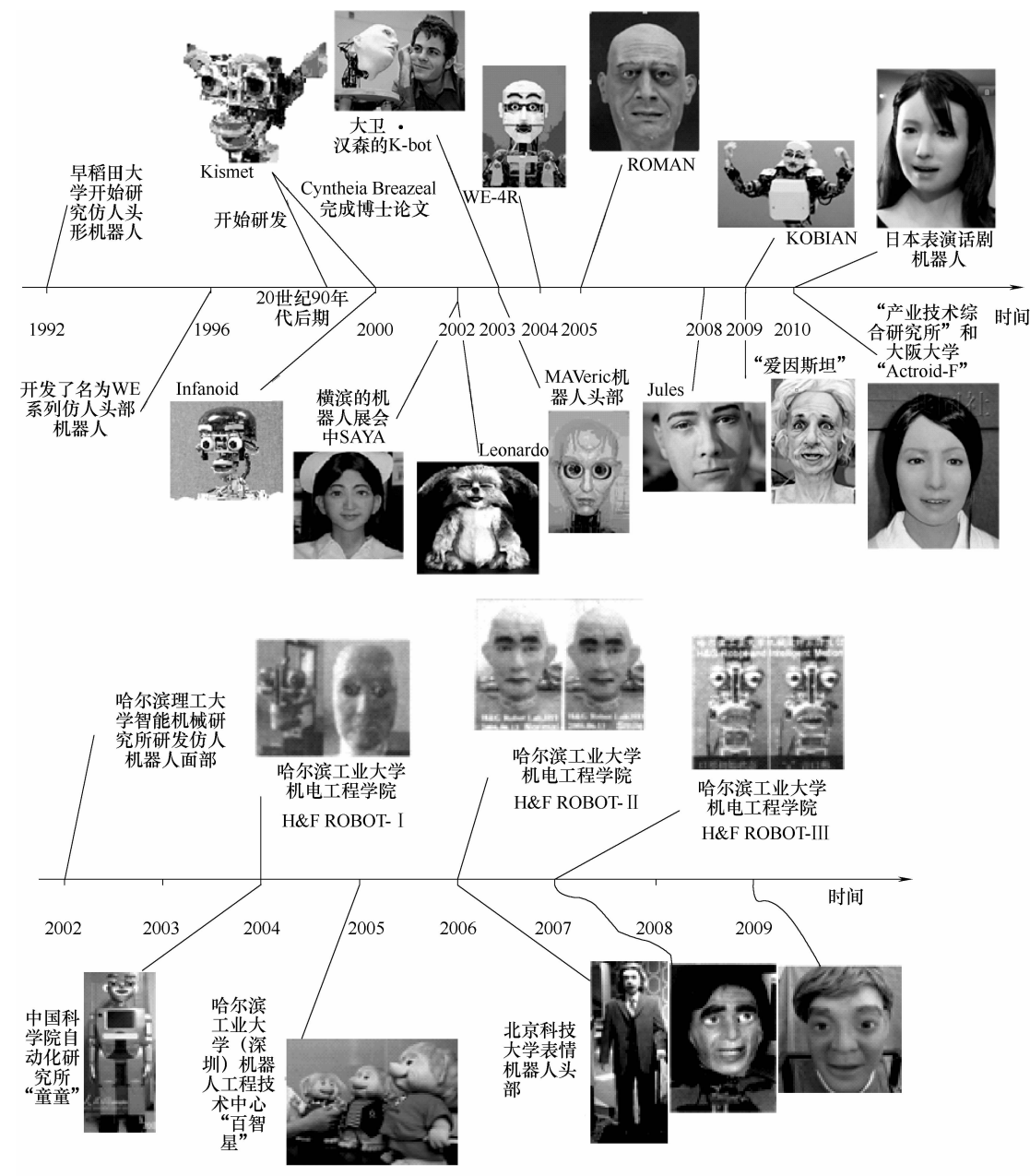


图 1-3 国内外情感机器人的发展过程

从图 1-3 可以发现，日本、美国的大学和研究所的研究开展较早，且多集中在早稻田大学和麻省理工学院，发展较快；德国与英国近期也开始进行相关研究；我国自 2002 年开始

发展对表情机器人的研究。目前国内比较先进的机器人有哈尔滨工业大学研制的“百智星”幼教机器人，中国科学院自动化研究所研制的“童童”机器人，北京科技大学研制的情感机器人头部。下面对几种情感机器人进行简单介绍。

日本早稻田大学理工部高西研究室于1992年开始研究仿人头形机器人，从1996年起开始开发名为WE系列的仿人头形机器人，至今已研制出了四个版本的WE系列仿人头形机器人，并以多种传感器作为感觉器官。例如，WE-4型机器人在眼球中安装彩色CCD（Charge Coupled Device，电耦合元件）摄像头采集视觉信息并进行颜色识别；在耳部安装微型传声器，采集声音信息；在机器人的面颊、前额和头部两侧安装力敏电阻作为触觉器官，识别不同触觉行为（如推、打和抚摸）；采用热敏电阻传感器感受温度；用4个半导体气体传感器作为嗅觉器官，识别酒精、氨水和香烟的气味。

美国麻省理工学院人工智能实验室的计算机专家辛西娅·布雷齐尔（Cynthia Breazeal）从婴儿与看护者之间的交流方式中得到启发，开发了一个名为“Kismet”的婴儿机器人。目前它只有头部与计算机相连，面部特征具有15个自由度，分布于眉毛、耳朵、眼球、眼睑、嘴唇等部位，每只眼睛装有一个5.6mm焦距的彩色CCD摄像机，耳部装有微型传声器，使它具有视觉和听觉。“Kismet”具有与人类婴儿相似的行为方式和能力，如模仿父母与孩子之间表达情感的反馈方式，婴儿向父母表达需求和愿望的方式，以及婴儿自我学习与人和环境交流的方式等。

2002年在日本横滨举行的机器人展会上，东京理科大学的展台上坐着一个身穿白色连衣裙的“姑娘”，长头发、大眼睛。她就是小林宽司教授研制的仿人机器人SAYA（见图1-4），它能扫描注视者的表情，比较其眼、口、鼻、眉的距离，与记忆库中自然表情的面孔对比，识别出该表情所表达的某种情绪，然后由人工肌肉带动并协调18个面部关键点的运动，展示出相应的喜悦、生气、惊讶等逼真表情。这项计划通过优化机器人的表情，来改善人与机器人的关系。人们尤其是老人不接受机器人，机器人就无法为人类服务，因此，我们需要尝试制造能被老人接受的机器人。SAYA只是面部机器人，但她面部五官齐全，有皮肤，与真人十分接近。小林宽司教授的下一个目标是让机器人能够开口说话，当前他已开始着手研发有舌头的说话机器人。相信在不久的将来，感情丰富、行动自如的SAYA一定会走到我们面前。



图1-4 东京理科大学的SAYA机器人

另外，东京理科大学还研制了机器人 AH I（见图 1-5）。其外观上是一个女性的头部，装有假牙、硅胶皮肤和假发，形象与人类十分接近。AH I 由微型气压柔性驱动器驱动面部 18 个控制点，可以实现人的喜、怒、厌、悲、恐、惊六种基本表情。塑料的眼球后面装有 18mm 的 CCD 微型摄像机，用来采集目标面部图像数据，并由大脑的分层神经网络进行面部表情的实时识别，可以识别人的喜、怒、厌、悲、恐、惊 6 种基本表情。SAYA 和 AH I 两个机器人都采用基于 Ekman 和 Friesen 的分析方法，把 6 种基本表情分解成 14 个面部运动单元（AU）的组合，通过对面部 18 个特征点的控制，实现各运动单元，进而组合出各种表情。

由 RIKEN 脑科学学会实验室、南加利福尼亚大学计算机学习及电机控制实验室以及 SARCOS 公司合作开发的名为 MAVeric 的机器人头部（见图 1-6），具有 7 个自由度。其运动是通过在计算机上编写软件程序来实时控制的。MAVeric 可以在发出声音的同时伴随产生嘴部运动，该运动通过计算机传输的指令经 RS232 串行接口输送到一个串行控制电路板、由 VB 程序编写的活动窗口控制。



图 1-5 东京理科大学的 AH I 机器人

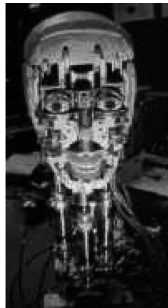


图 1-6 MAVeric 机器人头部

以上是几个具有代表性的（仿人）头部机器人研究成果。此外，还有美国得州大学达拉斯分校的博士生大卫·汉森发明的“K-bot”头部机器人，日本京都通讯研究室开发的婴儿机器人“Infanoid”，美国卡内基·梅隆大学开发的“Beardsley”，日本早稻田大学开发的“ISHA”、中国香港模型屋公司制造的头部机器人，美国加州大学研制的机器人头部，德国帕德伯恩大学 C 实验室的 Mexi，美国卡内基·梅隆大学的 4 目头部机器人，MarkMedonis 的 MAXWELL 等。日本本田公司的“阿西莫（Asimo）”，NEC 公司开发的伴侣机器人“PaPeRo”，Sony 公司的“SKR24X”机器人，日本仿人机器人财团的“小 IF”，以及世嘉玩具公司的人形机器人玩具“世博（C2BOT）”等，也具有一定的表情识别和通过表情表达情感的功能。

我国对这一领域的研究始于 20 世纪 90 年代，大部分研究工作是针对人工情感单元理论与技术实现的。中国工程院院士蔡鹤皋教授也曾在 1996 年研制出一款具有讲演技能的仿人演讲机器人，该机器人头部兼具眼球运动、嘴巴讲话带动面部肌肉运动等机能。哈尔滨工业大学类人与类人猿机器人研究室于 2004 年在国内首次研制成功具有 8 种基本面部表情（包括自然表情、严肃、高兴、微笑、悲伤、吃惊、恐惧、生气）的仿人头像机器人 H&F ROBOT- I，该机器人具有 14 个自由度，其中机器人头部具有 7 个自由度，实现了对人体头部器官运动和基本面部表情的模仿。

1.2.2 虚拟机器人的发展现状

虚拟机器人即虚拟人 (Virtual Human), 又称 Humanoid, 与 Avatar (替身、化身) 意思相近, 涵盖各种计算机系统中虚拟的人类基本特性, 包括其外观几何特性、动作特性、行为和情感特性等。情感虚拟人 (Affective Virtual Human) 就是使虚拟人具有特定的个性和情感交互 (情感识别和表达) 能力, 具有特定的人工心理数学模型和情感识别及情感表达方式, 是人在计算机生成空间 (虚拟环境) 中的几何特性与行为特性的表示, 是多功能感知与情感计算的研究内容, 是人工心理理论在虚拟现实领域的具体应用。

虚拟人技术有良好的应用前景, 它一直是近年来计算机领域中的热点课题之一, 已取得许多令人瞩目的成果, 图 1-7 简单概括了国内外具有情感的虚拟机器人的发展历程。

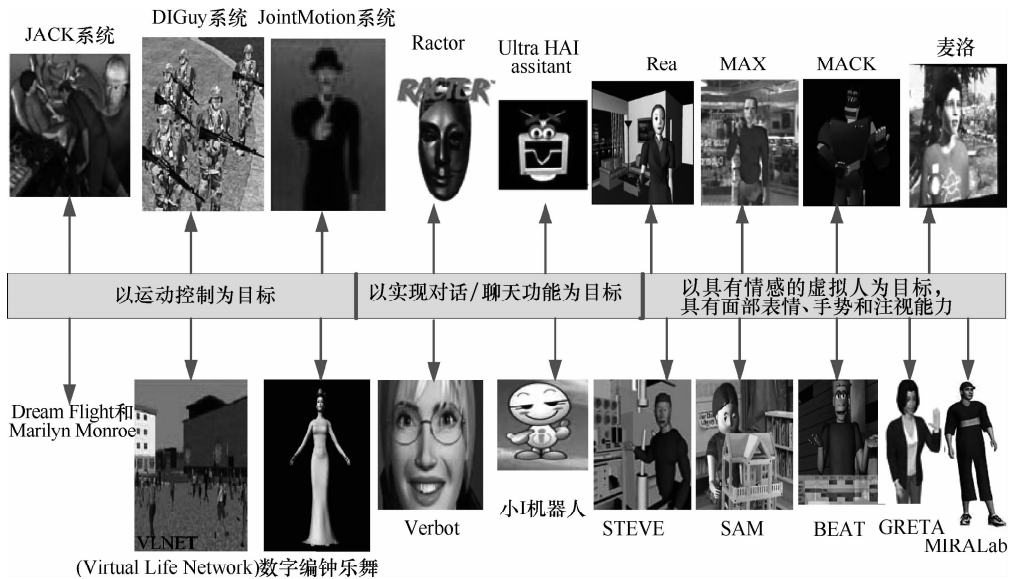


图 1-7 国内外具有情感的虚拟机器人的发展历程

国外一些发达国家对情感虚拟人的研究开展较早, 发展也较快。我国对情感虚拟人研究开始的时间虽然比国外要晚些, 但是也取得了丰硕的成果。本书将情感虚拟人技术分为以下三类:

1) 主要以实现运动控制为目标的情感虚拟人技术, 如 JACK 系统、Dream Flight 和 Marilyn Monroe、DIGuy 系统和 JointMotion 系统。Dream Flight 和 Marilyn Monroe 代表了 20 世纪计算机人技术的较高水平。中科院计算技术研究所数字化技术研究室开发的 Joint Motion 系统采用的动作捕获方法控制虚拟人的动作, 可以达到很逼真的效果, 其他院校如哈尔滨工业大学、浙江大学、北京科技大学等在这方面也都有所成就。

2) 以实现对话/聊天功能为目标的情感虚拟人技术, 如小 I 机器人, 它一经推出便受到 MSN 聊天用户的喜爱。

3) 以实现面部表情、手势和注视能力为目标的情感虚拟人技术, 如 REA (MIT 研究)、BEAT (MIT 研究)、STEVE、MAX、MACK (MIT 研究)、Sam (MIT 研究)、Greta、MIRALab 和麦洛等。其中由 Peter Molyneux 设计的虚拟男孩麦洛, 不仅会跟用户对话, 逐渐学习成

长，而且用户也能直接用语音下达命令，甚至如果用户在纸上写字然后用摄像机来拍，麦洛还会读纸上的字。从虚拟人技术发展的历程来看，这种和谐自然的交互方式已经成为未来研究的重要方向。

1.3 相关理论及关键技术

1.3.1 情感计算、感性工学及人工心理

1. 情感计算

学术界较早对情感进行系统研究的是美国 MIT 媒体实验室的 R. Picard。1997 年，R. Picard 出版了一本专著——《Affective Computing》，书中给出了情感计算的定义，即情感计算是与情感相关、来源于情感或能对情感施加影响的计算。

所谓的情感计算（Affective Computing）就是试图赋予计算机像人一样的观察、理解和生成各种情感特征的能力。情感计算的研究就是试图创建一种能感知、识别和理解人的情感，并能针对人的情感做出智能、灵敏、友好反应的计算机系统。

R. Picard 将情感计算的研究内容具体分为九个方面：情感机理、情感信息的获取、情感模式识别、情感的建模与理解、情感合成与表达、情感计算的应用、情感计算机的接口、情感的传递与交流、可穿戴计算机。目前的工作侧重于有关情感信息的获取（如各类传感器的研制）与识别。图 1-8 所示为其领导的课题组所研究的主要内容。情感计算可以从两个方面理解：一是基于生理学的角度，通过各种测量手段检测人体的各种生理参数，如心跳、脉搏、脑电波等并以此为根据来计算人体的情感状态；二是基于心理学的角度，通过各种传感器接收并处理环境信息，并以此为根据计算人造机器（如个人机器人）所处的情感状态。图 1-9 所示的几种可穿戴迷你传感器就是研究者们根据病症引起的人类情绪生理信号进行监

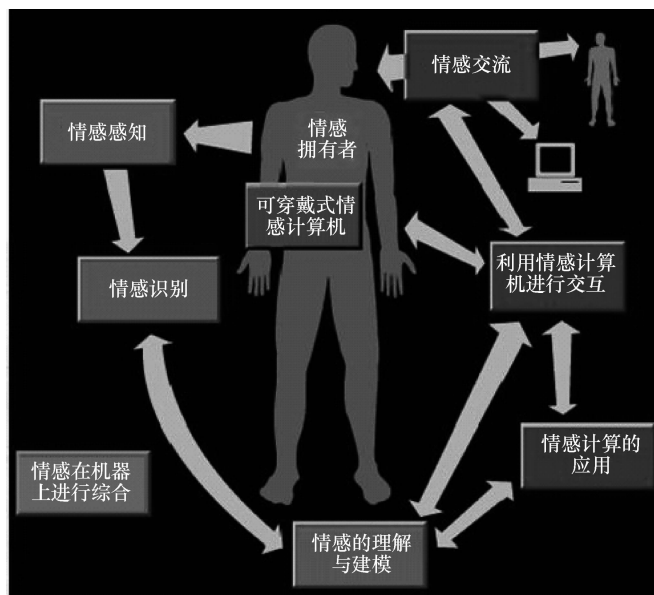


图 1-8 R. Picard 课题组的研究内容

测而研发出来的，从而为医生和患者提供可靠的帮助。

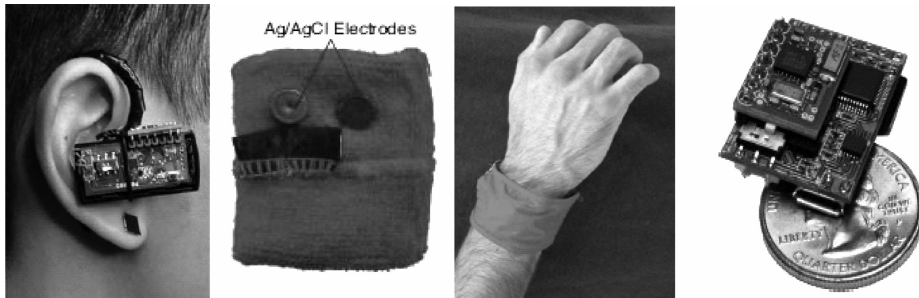


图 1-9 基于情感计算的生理信号监测器

近年来，情感计算的研究普遍受到学术界和企业界的关注。美国人工智能学会的年会也有此方面的专门研讨会，比如2004年FLAIRS-04的Special Track on Computing With Emotions和国际SCIO4的Invited Session on Emotion Processing。美国和欧洲的各个信息技术实验室正加紧对情感系统的研究步伐。麻省理工学院、剑桥大学、飞利浦公司等通过深入研究“环境识别”“环境智能”“智能家庭”等科研项目来拓展这一领域。例如，麻省理工学院媒体实验室的情感计算小组研制的情感计算系统，通过记录人面部表情的摄像机和连接在人身体上的生物传感器来收集数据，然后由一个“情感助理”来调节程序以识别人的情感。如果你对电视讲座的一段内容表现出困惑，情感助理会重放该片段或者给予解释。麻省理工学院“氧工程”的研究人员和比利时IMEC（Interuniversity Microelectronics Centre，微电子研究中心）的一个工作小组认为，开发出一种整合各种应用技术的“瑞士军刀”可能是提供移动情感计算服务的关键。麻省理工学院提出的“氧工程”就是一项由宏基、诺基亚、惠普和飞利浦等公司资助的以人为中心的计算机研究项目。该计划的研究来源于四个方面的考虑：首先是让计算机帮助人们提高工作效率；其次是了解计算和通信技术的发展趋势；再次是让计算机为用户服务；最后是使计算机理解人的需要。

2. 感性工学

日本在20世纪70年代提出了“感性工学（Kasnei Engineer）”的概念，但是关于“感性”的概念，目前在日本学术界还没有统一和明确的定义，不同的学者从各个角度给出了各种定义和描述。在一次对参加该领域学者进行的调查中，就“感性是什么”的问题，得到了许多不同的定义。下面主要介绍一下日本学者松山和隆司的观点。

他们从“感性”和“知性”的相互关系上来考察“感性”。他们认为，人类精神上所具有的多种多样的机能，概括地说可以分为“知”“情”“意”三个方面。可以说人工智能是从信息科学的角度以阐明“知”为目标的。与感性关系最密切的是“情”，然而感性并不等于“情”。感性是人所具有的感觉、知觉的机能和特性，而“情”是由此自然产生的东西。

从上面的想法出发，他们认为，人的感觉、知觉机构具有两面性和二重构造性。也就是说，在以前的模式识别、理解中，是从“知”的观点去解析感觉、知觉机构并使其信息模型化，开发构建工程上的信息处理系统（如人脸识别系统、语音识别系统等），而感觉、知觉机构所具有的另外一个重要的机能和特性——也就是“感性”，则是从“情”的观点来看