



信息科学技术专著丛书

# IETM智能计算技术

主编 雷震 何嘉武

IETM ZHINENG JISUAN JISHU



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)



信息科学技术专著丛书 目录

本书以... 智能计算技术... 北京邮电大学出版社... 2020年12月第1版...

# IETM 智能计算技术

主编 雷震 何嘉武

副主编 吴东亚 孙岩 刘宏科

编委 王江峰 梁清平 郑昆柱 魏培斌

北京邮电大学出版社  
地址：北京市海淀区西土城路10号  
邮编：100876  
电话：010-62282182  
E-mail: bupress@bupr.edu.cn  
网址: www.bupr.com.cn

定价：49.00元

ISBN 978-7-5643-6388-9



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

## 内 容 简 介

人工智能技术探索丛书



本书分为六章,包括绪论、深度学习、贝叶斯网络、智能边缘计算平台、IETM 智能交互技术、IETM 智能故障诊断技术。本书重点阐述了面向 IETM 的深度学习和贝叶斯网络等两个智能计算研究方向的主流学习框架、关键技术和其在智能交互、智能故障诊断领域的应用,以及最新智能边缘计算平台。

本书可作为从事人工智能、装备保障信息化等学科专业的教学和科研人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

IETM 智能计算技术 / 雷震, 何嘉武主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2020. 12

ISBN 978-7-5635-6288-6

I. ①I… II. ①雷… ②何… III. ①人工智能—计算 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 014293 号

策划编辑: 姚 顺 刘纳新 责任编辑: 姚 顺 封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.5

字 数: 247 千字

版 次: 2020 年 12 月第 1 版

印 次: 2020 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6288-6

定价: 46.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

# 前 言

## 本书编委会

主 编：雷 震 何嘉武

副主编：吴东亚 孙 岩 刘宏祥

参 编：

崔培枝 郑显柱 梁清华 王江峰

钱润华 翟晓宇 吴熙曦 程 洁

# 前 言

随着装备复杂性的不断增强,装备保障的难度也在逐渐加大,高技术装备与信息化装备必须有配套的信息化保障手段才能充分发挥其效能。如何加快装备保障信息化建设的步伐,提高装备保障信息化水平,成为当前装备建设亟待解决的重大课题。国内外的实践证明,交互式电子技术手册(IETM)作为装备保障信息化的一项重要的新技术和新手段,能极大地提高装备维修保障和训练装备人员的效率与效益。IETM已成为美国等许多发达国家所推行的CALS战略的重要组成部分,也是装备保障信息化技术研究和应用的热点之一。

目前,国内的IETM产品大多数仍处于四级水平,鲜见具有智能基因注入的五级产品。知名学者、百度深度学习研究院创立者、地平线机器人技术创始人余凯曾预言:“人工智能未来的发展方向是深度学习+贝叶斯网络。”对于IETM而言,智能计算中的深度学习和贝叶斯网络就好比“车之两轮,鸟之双翼”。

全书分为六章。

第1章为绪论。主要介绍了IETM技术、人工智能发展历史、深度学习一般过程和系统平台架构、贝叶斯网络结构和网络参数。

第2章为深度学习。主要介绍了卷积神经网络、循环神经网络、常用实验数据集、主流深度学习框架对比、深度强化学习、蒙特卡洛树搜索、生成对抗网络、TensorFlow以及深度学习在IETM中应用的思考。

第3章为贝叶斯网络。主要介绍了贝叶斯网络的结构学习、参数学习、学习算法的评价、贝叶斯网络的推理、多实体贝叶斯网络、Matlab和GeNIe工具的应用以及贝叶斯网络在IETM中应用的思考。

第4章为智能边缘计算平台。主要介绍了Jetson TX2安装、Jetson TX2下TensorFlow的安装、Jetson TX2刷机、Atlas 200的安装和Mind Studio运行以及智能边缘计算平台在IETM中应用的思考。

第5章为IETM智能交互技术。主要介绍了基于深度学习的IETM智能语音交互,基于深度学习的IETM智能目标检测交互,增强现实和虚拟现实在IETM智能交互中的

应用。

第6章为IETM智能故障诊断技术。主要介绍了基于本体的机械故障诊断贝叶斯网络,基于贝叶斯网络的柴油机润滑系统多故障诊断,基于时效性分析的动态贝叶斯网络故障诊断方法,基于概率网络本体语言的故障诊断方法。

本书的价值和特色是从深度学习和贝叶斯网络这两个智能计算研究方向去思考面向IETM应用的相关智能交互技术、智能故障诊断技术、智能边缘计算终端应用等问题,具有新颖性、交叉性和实用性。本书在编写的过程中引用一些专业网站内容,在此一并致谢。本书可作为从事人工智能、保障信息化等学科专业的教学和科研人员的参考用书。

由于本书相关的内容处于研究与探讨阶段,难免存在不足之处,恳请读者给予指正。

作者

章六

作者

作者

作者

作者

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 IETM 技术 .....	1
1.1.1 国内 IETM 应用现状 .....	1
1.1.2 IETM 研发用例图和手册编制基础脚本样例 .....	3
1.1.3 五级 IETM 定义 .....	4
1.1.4 五级 IETM 在装备保障中的应用价值 .....	5
1.1.5 五级 IETM 的建设方式 .....	5
1.2 人工智能 .....	6
1.3 深度学习 .....	7
1.3.1 一般过程 .....	8
1.3.2 系统平台架构 .....	9
1.3.3 深度学习三泰斗 .....	10
1.4 贝叶斯网络 .....	11
1.4.1 贝叶斯网络的特性 .....	11
1.4.2 贝叶斯网络的结构和网络参数 .....	12
1.4.3 贝叶斯网络的构建 .....	12
1.5 本书的安排 .....	13
<b>第 2 章 深度学习</b> .....	15
2.1 深度学习概述 .....	15
2.2 卷积神经网络 .....	22
2.2.1 相关概念 .....	22
2.2.2 AlexNet .....	24
2.2.3 ZF Net .....	25

2.2.4	GoogLeNet	28
2.2.5	Region Based CNNs	30
2.2.6	Microsoft ResNet	32
2.2.7	Spatial Transformer Networks	33
2.2.8	Matconvnet	34
2.2.9	卷积神经网络芯片	38
2.3	循环神经网络	38
2.4	常用实验数据集	40
2.4.1	图像分类领域	41
2.4.2	自然语言处理领域	42
2.4.3	目标检测定位	43
2.5	主流深度学习框架对比	43
2.5.1	TensorFlow	46
2.5.2	Caffe	47
2.5.3	Caffe2	48
2.5.4	CNTK	48
2.5.5	MXNet	48
2.5.6	Torch	49
2.5.7	PyTorch	49
2.5.8	Deeplearning4J	49
2.5.9	Theano	50
2.5.10	开源 vs 非开源	50
2.5.11	PyTorch vs TensorFlow	50
2.6	深度强化学习	52
2.7	蒙特卡洛树搜索	54
2.7.1	极小极大搜索	54
2.7.2	蒙特卡洛树搜索	55
2.7.3	关于细节	56
2.8	生成对抗网络	57
2.8.1	CycleGAN	58
2.8.2	WASSERSTEIN DISTANCE	59
2.9	深度学习框架 TensorFlow	60

2.9.1	TensorFlow 的简介	60
2.9.2	TensorFlow 的优势	63
2.9.3	TensorFlow 的安装	63
2.10	关于深度学习在 IETM 中应用的思考	71
<b>第 3 章</b>	<b>贝叶斯网络</b>	<b>73</b>
3.1	贝叶斯网络的概述	73
3.2	贝叶斯网络的结构学习	73
3.2.1	贝叶斯网络结构的评价函数	74
3.2.2	完整参数的贝叶斯网络结构学习	74
3.2.3	缺失数据的贝叶斯网络结构学习	75
3.2.4	贝叶斯网络结构学习的复杂性	75
3.3	贝叶斯网络的参数学习	76
3.3.1	完备数据集条件下的贝叶斯网络参数学习	77
3.3.2	缺失数据条件下的贝叶斯网络参数学习	77
3.4	学习算法的评价	78
3.5	贝叶斯网络的推理	78
3.5.1	因果推理	79
3.5.2	诊断推理	79
3.5.3	解释消除	79
3.6	多实体贝叶斯网络	79
3.7	Matlab 工具的应用	80
3.8	GeNIe 工具的应用	87
3.9	关于贝叶斯网络在 IETM 中应用的思考	88
<b>第 4 章</b>	<b>智能边缘计算平台</b>	<b>89</b>
4.1	Jetson TX2 的安装	89
4.1.1	安装 VMware Workstation	89
4.1.2	安装 Ubuntu-16.04.3	96
4.1.3	安装 Vmtools 10.0.5	96
4.1.4	安装 JetPack 并刷机	103
4.2	Jetson TX2 下安装 TensorFlow 深度学习框架	119

4.2.1	安装 TensorFlow 深度学习框架	119
4.2.2	Jetson TX2 安装 TensorFlow 注意事项	124
4.3	Jetson TX2 刷机及安装 TensorFlow GPU 注意事项	124
4.4	Atlas 200 的安装	125
4.4.1	开发前的装备	125
4.4.2	安装 Mind Studio	131
4.4.3	验证安装结果	134
4.4.4	运行 Mind Studio 总体流程	134
4.5	关于智能边缘计算平台在 IETM 中应用的思考	143
<b>第 5 章 IETM 智能交互技术</b>		<b>144</b>
5.1	基于深度学习的 IETM 智能语音交互	144
5.1.1	基于循环神经网络的汉语语音识别全反馈模型	144
5.1.2	基于卷积神经网络的连续语音识别	146
5.1.3	循环神经网络在语音识别模型中的训练加速方法	146
5.2	基于深度学习的 IETM 智能目标检测交互	147
5.2.1	R-CNN	148
5.2.2	YOLO	149
5.2.3	Fast R-CNN	150
5.2.4	Faster R-CNN	151
5.2.5	SSD	152
5.2.6	Mask R-CNN	152
5.2.7	各种检测模型的对比分析	153
5.3	增强现实和虚拟现实在 IETM 智能交互中的应用	154
5.3.1	增强现实在 IETM 智能交互中的应用	154
5.3.2	虚拟现实在 IETM 智能交互中的应用	155
5.4	国内 IETM 交互功能不太理想的原因	158
<b>第 6 章 IETM 智能故障诊断技术</b>		<b>159</b>
6.1	基于本体的机械故障诊断贝叶斯网络	159
6.1.1	OntoDBN 的体系结构	160
6.1.2	维护诊断本体建模	161



# 第1章 绪论

## 1.1 IETM 技术

当前,我国大型复杂高技术产品的研制与部署进程正在加快,但保障任务加重、难度增大,传统纸质技术资料体积与重量大、交付与更新及时性差、使用效率低下等弊端日益凸显,已远不能满足保障及人员培训的需要,成为制约保障能力生成的瓶颈。

在这种背景下,交互式电子技术手册(简称 IETM)应运而生。IETM 是以数字形式存储,采用文字、图形、表格、音频和视频等形式,以人机交互方式提供产品基本原理、使用操作和维修等内容的电子技术文件,是一项重要的保障信息化技术手段。作为一项重要的保障信息化技术,IETM 具有数据格式标准、功能应用多样、用户界面友好、使用效益显著等特点,在辅助维修、辅助训练和辅助技术资料管理等方面表现出巨大的优越性。国内外对此进行了大量研究,并在开发的维修培训系统中进行了应用,为培训者提供了多种培训模式。根据美国国防部 90 年代中期的统计数据,对于大型产品系统的技术培训,IETM 能够减少 33% 的必修课程和 28% 的培训时间,能够降低参训者知识遗忘率达到 75%。

### 1.1.1 国内 IETM 应用现状

2000 年以后,随着信息技术的发展和国外先进成熟的 IETM 编制软件进入我国,我国 IETM 技术的研究和应用进入了一个崭新阶段。航空、航天、船舶、兵器、电子等行业中越来越多的单位积极开展 IETM 的研制工作,航空工业是其中典型的代表。从最早西飞的“新舟”60 客机,到最近几年的中国商飞 C919 客机、航空工业 AC313 民用直升机、通飞 AG600 水陆两栖飞机等项目中均研发了 IETM 系统,对推动 IETM 技术在我国的应用特别是民用领域的应用起到了积极的作用。

为了提高产品竞争力,降低售后服务成本,提升服务质量,越来越多的民用装备厂家开始重视 IETM 的应用。其应用已逐步拓展到高铁(如中车时代电气、青岛四方机车)、电网(内蒙古电力)、汽车(长安汽车、东风汽车)等行业领域,解决了传统纸质技术资料难以在服务现场携带、搜索不便的问题,大幅降低了售后技术服务的压力和成本。与国外产品相比,

国内 IETM 产品在技术上存在应用单一、项目管理功能弱、所见即所得编制水平不高、线路图册可视化编制缺失等问题,在应用方面存在缺少技术插图查看工具、三维图像制作工具、未与 ATE 等辅助设备集成等差距。具体表现如下:

- 应用单一,未能与产品全寿命周期的相关应用无缝集成

我国 IETM 的应用形式比较单一,仅具备资料查看和一些有限的应用接口(如维修应用和训练系统),对专家系统、产品数据管理(PDM)、保障性分析记录(LSAR)、装备备件和库存管理、故障预测与健康管理系统(PHM)、维修保障管理软件(MRO)等常用的产品全寿命周期相关应用的集成不够。

- 可视化编辑水平低,易用性不高

我国的 IETM 编制平台基本上以 XML 编辑器为基础界面,数据以标签的形式存在,不利于初学者快速掌握软件功能。相比之下,国外如 WebX 等平台完全实现了编辑平台的“所见即所得”,使用环境如 Word 等文档编辑器般易用,减少用户学习的抵触心理并大幅降低了学习成本,提升编制效率,降低编制成本。

- 缺少线路图可视化编辑及阅读解决方案

随着航空、航天、汽车、轨道交通、海运、机床等大型复杂设备、电子设备使用过程中的电气系统越趋复杂,线路连接复杂、信号跟踪困难等问题导致日常维护、故障定位、维修保养的难度大幅增加,为此交付具有连线指示信息、信号流信息的线路图册能够减少复杂设备的维护成本,提高设备的维修正确率,降低设备停机时间。

目前,国内线路图制作工具只能交付 CAD 形式的原理图,此类图形存在现场指导性差、信息丢失严重、无法跟踪信号等问题,难以满足设备的日常维护需要。国外 Metor Graphic、达索等公司提供了线路图可视化编辑工具,支持以可视化的形式制作具有交互效果的原理图、逻辑拓扑图、物理拓扑图等线路图,能够发布为符合 IETM 标准的布线类图册,提供信号跟踪、连线指示、物理接口查看等功能,对设备的维修维护有非常大的指导意义。为此使用单位及用户在多个型号评审会上提出希望 IETM 厂家提供布线图册的可视化编辑及阅读解决方案。

- 缺少技术插图、三维图像制作及查看工具

技术插图及三维图像制作是产品研制的重点,贯穿产品的整个生命周期。目前国内缺少完全自主知识产权的工业三维制作软件,国内绝大部分工业单位均使用达索、西门子、PTC、PG、AutoDesk 等厂商的三维制作软件,接口封闭、安全性差。同时上述软件基本上采用厂家专用格式或对国际标准进行扩展,导致制作完成的技术插图、三维图像查看工具基本上只能使用上述厂家提供的查看插件。

- 未与 ATE 等辅助设备集成

过程类数据模块能够驱动外部应用程序,通过在 IETM 中实现 IETM 与 ATE、BIT 等设备的连接,当装备发生故障时,只需连上 IETM 即可显示相应的维修指导信息,能够极大



某型设备 IETM 编制的基础脚本共分为五大模块,分别为系统介绍模块,检查处理模块,保养保管模块,操作使用模块,常见故障排除模块。参考资料为《某型装备操作使用教程》,也可以参照使用维护说明书等其他正式出版发布的技术资料。

表 1-1 某型产品交互式电子技术手册编制脚本

序号	基层结构				任务分工			包含内容							身份区分							
	1级	2级	3级	4级	设计单位	设计人	落实单位	参考文献	调整说明	文字描述	表格	插图	视频	3D模型	交互式动画演示	警告警示	管理员	车长	一炮手	二炮手	驾驶员	
1	概述				军方甲单位	张三	工业部门某单位	兵操手册														
2		用途			军方甲单位	张三	工业部门某单位	兵操手册														
3		主要战术技术性能			军方甲单位	张三	工业部门某单位	兵操手册														
4		组成			军方甲单位	张三	工业部门某单位	兵操手册														
5		车辆综合电子信息			军方甲单位	李四	工业部门某单位	兵操手册														
6		乘员职责			军方甲单位	王五	工业部门某单位	兵操手册														
7			车长		军方甲单位	王五	工业部门某单位	兵操手册														
8			一炮手		军方甲单位	王五	工业部门某单位	兵操手册														
9			二炮手		军方甲单位	王五	工业部门某单位	兵操手册														
10			驾驶员		军方甲单位	王五	工业部门某单位	兵操手册														

如表 1-1 所示,“层级结构”中根据平时的教学经验和对产品用户的使用习惯可以进行调整,最好补齐 4 级结构内容。“任务分工”由项目总体组负责划分指派。“包含内容”是对应模块应该包含的表现形式,采用何种表现形式要根据具体情况进行选择,并非表现形式越多越好,有些简单的操作使用如果能够用文字描述和表格说清楚的,就没有必要用交互式动画演示,因为交互式动画的开发周期和成本相对要高出很多。而对于某些比较复杂的装配使用说明,采用爆炸图并结合交互式动画演示,相比文字描述、表格、插图、视频等形式可以更加形象直观地表现相应内容。警告警示部分为该内容中包含的乘员必须注意的事项,一般应放在首页显著位置。“身份区分”中是指该部分需要哪一名用户必须了解和掌握的,对于后续设置用户角色、数据权限和功能权限提供参考。

需求分析之后,还需要进行研制总要求论证,该部分规定了相应型号产品论证的任务、依据、原则、类型、主要内容、工作程序、质量管理和文件编写等通用要求。需要指出的是,研制总要求与需求规格说明书不同,前者来自于甲方,后者来自于乙方;前者是甲方在采购或建设前对项目、系统、产品的看法,后者是乙方对用户和产品的看法,即乙方对甲方想要的系统或产品进行理解后的一个规范化描述;前者从需求到设计,都有涵盖和涉及,后者只聚焦需求。

### 1.1.3 五级 IETM 定义

IETM 的研究和开发人员对五级 IETM 在以下几个方面达成了共识:五级 IETM 是综合

电子技术信息系统,是由四级交互式显示与其他过程的数据综合而成。主要涉及的先进技术覆盖人工智能(含深度学习、贝叶斯网络等)、大数据、故障诊断、AR/VR、智能穿戴设备等。

### 1.1.4 五级 IETM 在装备保障中的应用价值

符合五级 IETM 标准的智能 IETM,能够实现与专家系统、故障诊断系统、PHM 系统、训练保障系统、供应保障系统、维修保障系统等装备综合保障信息系统的互联互通,大幅提升装备保障的信息化水平。

五级 IETM 通过融合人工智能、大数据、边缘计算等技术,实现未知故障的现场收集及诊断,提高装备执行任务的能力。

五级 IETM 集成语音控制、VR/AR、手势识别等技术或设备,能够提升 IETM 在外场的易用性,提高装备外场维修保障效率。

### 1.1.5 五级 IETM 的建设方式

在已有四级 IETM 的基础上建设满足五级要求的 IETM 系统,需要实现与外部系统的数据集成、信息共享、交互操作、协同工作,通过集成多故障诊断及维修策略、深度学习、贝叶斯网络等人工智能算法,结合大数据分析、参数优化及算法优化等技术,提高故障诊断算法的正确率及运行效率,开发满足 AR、语音等新型交互模式的 IETM 阅读组件,集成物体识别技术,提升外场维修效率,最大限度地发挥 IETM 在使用、维修等过程中的效用。五级 IETM 的建设方式如图 1-2 所示。

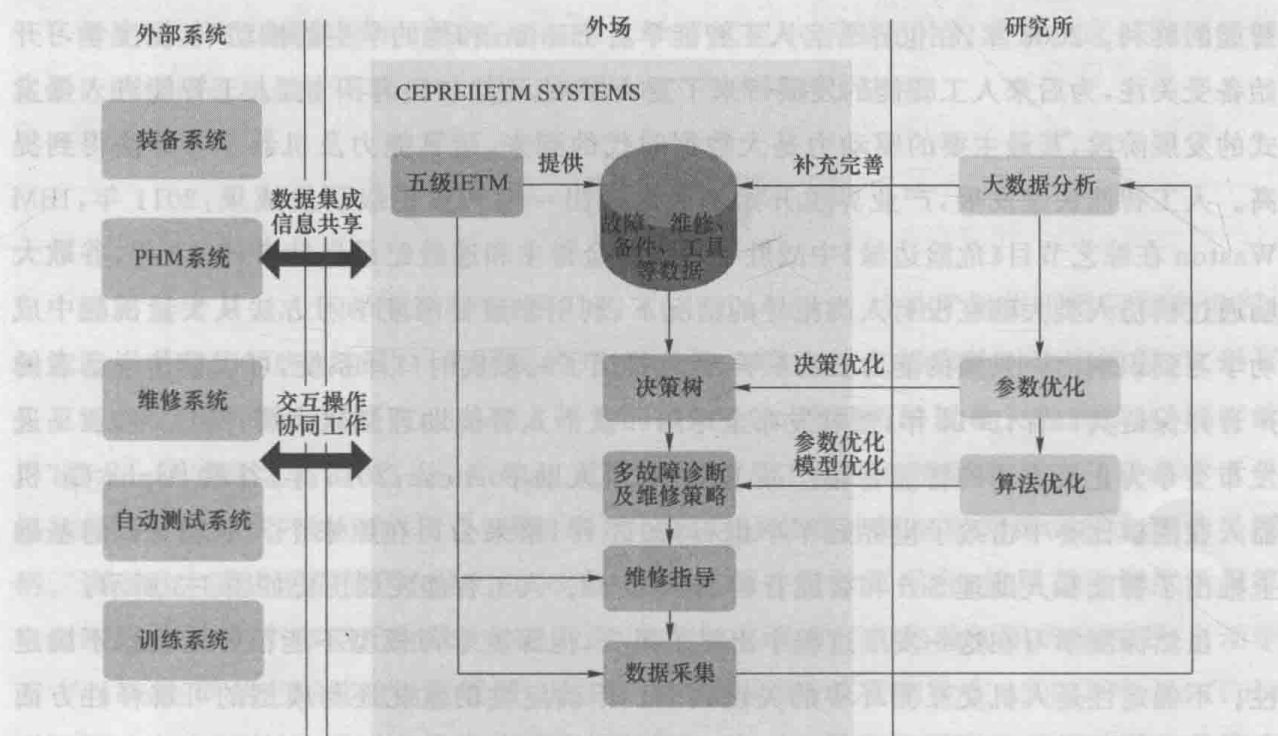


图 1-2 五级 IETM 的建设方式

基于四级 IETM,可采用 Restful、WebServices、P/Invoke、JACOM、管道等技术,结合本体、元数据、DEX、主数据等数据交换、共享技术,开发五级 IETM,实现 IETM 系统与备件管理系统、器材管理系统、维修保障系统、训练保障系统等外部系统的数据共享、数据交换,充分融合故障预测与健康管理系统、自动测试系统、远程维修系统、虚拟训练环境等应用系统,实现 IETM 系统与外部软件的交互操作与协同工作,提高装备的一体化信息保障水平。

## 1.2 人工智能

早在 1950 年,Alan Turing 在《计算机与智能》一书中就阐述了对人工智能的思考。他提出的图灵测试是机器智能的重要测量手段,后来还衍生出了视觉图灵测试等测量方法。1956 年,“人工智能”这个词第一次出现在达特茅斯会议上,标志着其作为一个研究领域的正式诞生。1959 年,Arthur Samuel 提出了机器学习,机器学习将传统的制造智能演化为通过学习能力来获取智能,推动人工智能进入了首次繁荣期。从 1976 年开始,人工智能的研究进入长达 6 年的低潮期。在 20 世纪 80 年代中期,随着美国、日本等发达国家大力推动人工智能研究,以及以知识工程为主导的机器学习方法的发展,出现了具有更强可视化效果的决策树模型和突破早期感知机局限的多层人工神经网络,由此带来了人工智能的二次繁荣。然而,当时的计算机难以模拟复杂度高及规模大的神经网络,仍有一定的局限性。1987 年,由于 LISP 机市场崩塌,美国取消了人工智能预算,日本第五代计算机项目失败并退出市场,专家系统进展缓慢,人工智能再次进入了低谷。1997 年,随着 IBM 深蓝战胜国际象棋世界冠军 Garry Kasparov 这一具有里程碑意义事件的诞生,宣告了基于规则的人工智能的胜利。2006 年,在世界著名人工智能学者 Hinton 和他的学生的推动下,深度学习开始备受关注,为后来人工智能的发展带来了重大影响。从 2010 年开始,人工智能进入爆发式的发展阶段,其最主要的驱动力是大数据时代的到来,运算能力及机器学习算法得到提高。人工智能快速发展,产业界也开始不断涌现出一系列重量级研发成果:2011 年,IBM Watson 在综艺节目《危险边缘》中战胜了最高奖金得主和连胜纪录保持者;2012 年,谷歌大脑通过模仿人类大脑在没有人类指导的情况下,利用非监督深度学习方法从大量视频中成功学习到识别出一只猫的能力;2014 年,微软推出了一款实时口译系统,可以模仿说话者的声音并保留其口音;2014 年,微软发布全球第一款个人智能助理微软小娜;2014 年,亚马逊发布至今为止最成功的智能音箱产品 Echo 和个人助手 Alexa;2016 年,谷歌 Alpha Go 机器人在围棋比赛中击败了世界冠军李世石;2017 年,苹果公司在原来个人助理 Siri 的基础上推出了智能私人助理 Siri 和智能音响 HomePod。人工智能发展历史如图 1-3 所示。

虽然深度学习在这一发展过程中出尽了风头,但深度学习模型不能很好地表示不确定性。不确定性是人机交互循环中的关键因素。不确定性的量化还与模型的可解释性方面有关,因为它会影响人类对机器输出的信任度。