



中国人工智能开源软件发展白皮书

(2018)

中国人工智能开源软件发展联盟

2018年7月

序

随着新一代人工智能在全球各行业深入应用，传统生产方式、商业模式和产业生态等开始逐步重塑。国务院、工业和信息化部先后出台《新一代人工智能发展规划》、《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018-2020年）》等重要文件，提出建设人工智能开源开放平台要求，鼓励产学研用各方力量共同推进我国人工智能开源软件发展。人工智能开源软件是驱动人工智能技术创新和应用的重要支撑力量，为全球不同行业和企业带来全新的发展机遇，为我国在新时代加速技术创新和产业发展提供了重要契机；是全球技术创新的竞争高地；也是引领新一轮变革的主导力量之一。

人工智能开源软件从诞生至今经历了多个阶段的发展。如今在自然语言处理、计算机视觉、智能语音、无人系统、知识图谱、信息安全、虚拟现实等领域都有深度的应用。特别是近三年来，人工智能开源软件蓬勃发展，其数量已达到历史最高峰。同时也已成为发达国家政府、国内外顶尖学术研究机构、跨国技术全球企业、国际开源机构等组织的研究讨论的热点，备受产业界广泛关注和积极投入。在全球范围内，我国的人工智能开源软件虽然在部分领域实现了一些重要突破，但在地域分布、市场份额、完善程度、技术先进性等方面与国外相比仍然存在一定的差距。在我国，工业和信息化部也提出到2020年实现面向云端训练的开源开发平台，可支持大规模分布式集群、多种硬件平台、多种算法；实现面向终端执行的开源开发平台，可具备轻量化、模块化和可靠性等特征。因此，加强薄弱环节的研究、推进人工智能开源软件生态的全面发展、构建符合我国国情并凸显特色的人工智能开源软件、提升我国人工智能开源软件在世界上的影响力，是在这场重大技术创新和产业变革中重点的努力方向，也是促进我

国人工智能技术创新和产业应用的关键抓手。

为推动人工智能开源软件快速而健康的发展，工信部信息化和软件服务业司指导中国电子技术标准化研究院，联合上海计算机软件技术开发中心、北京大学、中国科学院、北京京东尚科信息技术有限公司、深圳前海微众银行股份有限公司、蚂蚁小微金融服务集团、阿里巴巴(中国)有限公司、北京百度网讯科技有限公司、东软集团股份有限公司、顺丰科技有限公司等企事业单位，研究梳理人工智能开源软件发展现状，分析人工智能开源软件生态，提出我国人工智能开源软件发展建议，并提炼我国人工智能开源软件应用案例，编撰形成了《中国人工智能开源软件发展白皮书（2018）》。白皮书内容详实、分析透彻，对各级产业主管部门推动人工智能开源软件技术创新和产业发展，开展相关工作具有较好的参考价值。希望各界共同努力，积极把握人工智能开源软件的发展趋势和规律，营造良好的发展环境，加速推动我国人工智能开源软件技术和产业的良性发展。

工业和信息化部
信息化和软件服务业司
2018年6月

版权声明：如需转载或引用，请注明出处。

中国人工智能开源软件发展白皮书（2018）

白皮书编写单位名单

中国电子技术标准化研究院

上海计算机软件技术开发中心

北京大学

深圳前海微众银行股份有限公司

北京京东尚科信息技术有限公司

东软集团股份有限公司

浙江蚂蚁小微金融服务集团股份有限公司

国信优易数据有限公司

青岛海尔科技有限公司

许继集团有限公司

阿里巴巴(中国)有限公司

顺丰科技有限公司

华南理工大学

北京市商汤科技开发有限公司

曙光信息产业股份有限公司

深圳市紫金支点技术股份有限公司

中国科学院软件研究所

北京华宇软件股份有限公司

哈工大机器人集团有限公司

北京百度网讯科技有限公司

华为技术有限公司

深圳市优必选科技有限公司

白皮书编写单位名单（续）

华东师范大学

东南大学

金税信息技术服务股份有限公司

深圳市北科瑞声科技股份有限公司

中国科学院自动化研究所

中国科学院计算技术研究所

上海交通大学

国泰君安证券股份有限公司

网易（杭州）网络有限公司

天津天大康博科技有限公司

中国人民大学

复旦大学

同济大学

西安交通大学

杭州海康威视数字技术股份有限公司

北京字节跳动科技有限公司

航天科工仿真技术有限责任公司

北京搜狗信息服务有限公司

平安科技（深圳）有限公司

上海软中信息技术有限公司

城云科技（中国）有限公司

兴业银行

北京凯思昊鹏软件工程技术有限公司

航天云网科技发展有限公司

白皮书编写单位名单（续）

北京小米科技有限责任公司

北京航空航天大学

北京华风创新网络技术有限公司

北京邮电大学

深圳赛西信息技术有限公司

北京理工大学

华中科技大学

神州土地（北京）信息技术有限公司

北京金山云网络技术有限公司

深圳TCL新技术有限公司

电子科技大学

河北中科恒运软件科技股份有限公司

上海智臻智能网络科技股份有限公司

广西北港信息工程有限公司

北京睿呈时代信息科技有限公司

北京青杏科技有限公司

白皮书指导组名单

何积丰	孙文龙	王晓明	傅永宝	周平	张绍华
杨小康	王长波	薛建儒	周明辉	谭福有	王伟
薛云志	刘轶	张吉豫			

白皮书编写组名单

崔静	张明英	张璨	宋俊典	单曙兵	荆琦
李斌	戴炳荣	卢丽珊	段立新	戴东东	王太峰
孙仕亮	刘志欣	程万军	付会文	高健博	陈超凡
于泉杰	李忻	张超	蔡毅	杨辉华	蒋慧
陈涛	王鹏	苑博	张文凯	何光宇	孙晓宇
郑晨光	巢林林	张彦龙	郑宇	孙国忠	王峰
邱锡鹏	梅魁志	李振伟	白志晖	夏虎	李长升
刘玉明	漆桂林	汪鹏	王先庆	庞建新	孟令中
吕世东	顾玉良	李苏旺	秦湘军	牛毅	金耀辉
李刚	张宏伦	袁杰	贾昌鑫	崔勇	张玉双
胡奉平	王春涛	康明	李雨龙	季磊	陈敏磊
徐娟娟	钟志龙	冉龙亚	杨炆	王耀威	黄石磊
曹布阳	潘细朋	徐伟津	赵颖	王膺	赵华
陈国栋	洪玮	廖冠	韩震峰	邓祥瑞	高兴龙
曾庆辉	陈国伙	王淼	胡江明	茹昭	邸建
江新兰	郑凯	刘巍	袁璐	黄鑫	马炆
公维	陈凯	余声	侯宝存	邹萍	张俊毅
李文超	刘毅	曹安然	尹思遥	史晓楠	李开民
王义文	张卿	周刚慧	李莹	明承瀚	徐海涛
靳鹏刚	王子鑫	王利波	朱顺	乔阳	吕世龙

■ 目 录

一、概述	1
(一) 编写背景	1
(二) 编制方法	2
(三) 特别声明	4
二、人工智能开源软件发展现状	5
(一) 人工智能开源软件发展历程	5
1 第一次成长期	7
2 第二次成长期	7
3 复苏期	8
4 机器学习繁荣期	9
5 深度学习爆发期	9
(二) 人工智能开源软件发展现状	11
1 人工智能开源计算平台	12
2 开源机器学习框架	16
3 应用领域相关开源软件	21
(三) 人工智能开源软件特性分析	50
1 典型人工智能开源软件特性统计与分析	50
2 典型人工智能开放数据集特性统计	55
(四) 基于开源软件的人工智能技术典型解决方案	56

■ 目 录

1 数据管理	56
2 计算管理	58
3 基础机器学习算法	58
4 领域构件	59
5 建立解决方案	60
三、人工智能开源软件生态分析	63
(一) 人工智能开源软件生态图总述	63
(二) 人工智能开源软件关键要素分析	64
1 技术	64
2 人才	65
3 标准	66
4 社区	67
5 资金	70
6 知识产权	72
7 安全	76
(三) 人工智能开源软件外部约束分析	77
1 法律	77
2 政策	78
3 开源文化	80

4 公共服务	81
(四) 人工智能开源软件价值分析	82
1 开源软件的公共价值	82
2 开源软件的商业价值	84
(五) 人工智能开源软件产业链分析	85
四、中国人工智能开源软件发展建议	89
(一) 发展路径	89
(二) 发展模型	91
结束语	93
附录A 典型人工智能开源软件特性统计表	95
附录B 典型人工智能开放数据集特性统计表	101
附录C 人工智能开源软件应用领域与场景案例	104
C.1 人工智能开源软件应用全景图	104
C.2 智能经济	104
C.2.1 智能制造	106
C.2.2 智能农业	110
C.2.3 智能物流	112

■ 目 录

C.2.4 智能金融	115
C.2.5 智能商务	120
C.2.6 智能家居	125
C.2.7 智能能源	126
C.2.8 智慧水利	128
C.3 智能社会	129
C.3.1 智能医疗	130
C.3.2 智慧法庭	131
C.3.3 智慧城市	132
C.3.4 智能交通	136
C.3.5 智能环保	137
C.3.6 公共安全保障	138
C.3.7 智能健康与养老	143
C.3.8 智能教育	145
C.4 智能基础设施	146
C.4.1 智能化基础设施	146
C.4.2 高性能计算基础设施	148
C.4.3 大数据基础设施	149

一、概述

(一) 编写背景

“人工智能”近年来发展迅猛并成为国内外高精尖科技创新的代名词，然而语音识别、自然语言处理、计算机视觉等“人工智能”技术却不是一个新生事物。“人工智能”诞生于1956年，在60多年的发展演进过程中，受到智能算法、计算速度、存储水平、数据训练等多方面因素的影响，其技术和应用发展经历了多次高潮和低谷。人工智能经历从原有的CPU架构，转变为GPU并行运算架构；从单一算法驱动，转变为数据、算力、算法复合驱动；从封闭的单机系统，转变为快捷灵活的开源框架；从学术研究探索导向，转变为快速迭代的实践应用导向的发展，逐步迈入又一次繁荣时期。

开放源码（开源）的精神（文化）在于使用者可以使用、复制、散布、研究和改进软件，可追溯到20世纪60年代，至今已有半个世纪的发展。纵观开源文化的历史重大事件，从1983年GNU项目的发起，标志着自由软件运动的开始，到1985年Stallman自由软件基金会的创立，再到Android开源移动操作系统击败Nokia巨头，OpenStack开源云平台的典型架构，越来越多的开源事件表明，开源可推动研发速度加快、节约成本、效益最大化，是推动技术创新和产业发展的有效路径。

与人工智能密切相关的技术，如计算机视觉开源社区OpenCV、自然语言处理开源社区OpenNLP、机器人操作系统ROS等等，均表明开源软件与人工智能的深度融合，是全球人工智能产业呈现加速发展态势的重要驱动要素。究其根源，有三方面因素：一是开源能提高人工智能研发效益。

开源社区吸引全球数百万人工智能研究人员和工程技术人员参与，大幅减少重复性工作，提高研发效益，节约研发资源和时间成本。二是开源能加速人工智能技术创新。企业推出构建深度学习平台、深度学习框架等开源平台，持续加大资金和人力投入，加速人工智能技术创新。三是开源能促进人工智能生态构建。当前很多大型科技企业聚集一起，建立联盟关系，形成人工智能开源技术最佳实践，构建人工智能生态体系，解决单一企业人工智能技术创新能力不足和产品生态构建困难等问题。

为系统研究分析人工智能开源软件发展趋势，梳理推动我国人工智能开源软件发展的路径和建议，2018年3月15日，工业和信息化部信息化和软件服务业司印发了《关于支持成立“中国人工智能开源软件发展联盟”的复函》（工信软函〔2018〕255号），支持中国电子技术标准化研究院积极借鉴国际人工智能开源软件发展经验，探索产学研用共同推进的科技创新体系，助力我国人工智能开源软件发展。为有效贯彻落实工信软函〔2018〕255号文的要求，编写组特编写本白皮书，旨在对人工智能开源软件现状进行梳理，分析人工智能开源软件发展现状，提出中国人工智能开源软件发展思路，展示人工智能开源软件应用实例，从而支撑产业发展，为各级产业主管部门、从业机构提供参考。

（二）编制方法

一是研究分析国内外相关战略政策文件和理论文献。综合分析英国、中国、美国等国家的人工智能政策措施以及国内外标准化组织出台的相关标准，着重研读中国出台的一系列关于人工智能开源软件的相关文件。例如：美国白宫发布的《为人工智能的未来做好准备》、《国家人工智能研究与发展战略规划》，我国出台的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》、《新一代人工智能发展规划》以及《促进新一代人工智能产业发展三年行动

计划（2018-2020年）》等文件；国际标准化组织ISO/IEC JTC 1、IEC等出台的有关人工智能术语词汇、人机交互、计算机图像处理等关键领域的标准；国内标准制定组织出台的GB/T 5271.28-2001《信息技术 词汇 第28部分：人工智能 基本概念与专家系统》、GB/T 29268.1-2012《信息技术 生物特征识别性能测试和报告 第1部分：原则与框架》等标准研究文件。通过开展上述政策和相关文件的研究分析，系统掌握了人工智能及开源软件的最新发展动向。

二是归纳分析人工智能开源软件发展现状及生态。我们组织了业内相关领域的专家，经过充分研讨和论证，对人工智能开源软件进行了详细的归纳和深入的分析。从人工智能开源软件的发展现状入手，对开源计算平台、开源机器学习框架、应用领域相关开源软件等方面加以介绍，并进行特性统计与分析；同时，本白皮书绘制了人工智能开源软件生态图，从关键要素、外部约束、价值及产业链等方面展开分析，并提出我国人工智能开源软件的发展建议。

三是总结分析国内外典型应用案例。先后研究了以国外Google、Microsoft、Amazon和Facebook为代表的各大巨头推出的TensorFlow、CNTK、MXNet、Torch和Caffe2等人工智能技术工具，以及国内企业界百度、腾讯和京东相继推出的PaddlePaddle、Angle等平台，学术界中科院计算所的Seetaface、复旦大学的FudanNLP、蒙特利尔大学的Theano和伯克利大学的Caffe等国内外知名人工智能开源框架，掌握了当下典型开源软件的具体应用场景，并邀请部分企业的技术或战略负责人共同参与白皮书的编制工作，为本白皮书提供了智能经济、智能社会、智能基础设施3大领域19个行业的36个人工智能开源软件应用案例。

(三) 特别声明

当前社会各界对人工智能开源认识尚未达成统一，本白皮书主要观点内容仅代表参编单位当下对人工智能开源软件的认识。对于文中的主要观点，欢迎社会各界专家学者提出建议，我们将积极听取各方专家意见，持续改进丰富完善白皮书的内容。

二、人工智能开源软件发展现状

(一) 人工智能开源软件发展历程

人工智能的发展始于1956年召开的达特茅斯会议，会议正式确定了人工智能的研究领域。经过半个多世纪的发展，经历了多次高潮和低谷，人工智能技术和人工智能开源软件取得了巨大的进步。

由于开源软件的概念形成较晚，早期典型人工智能软件既有开放源代码的开源软件，也有不开放源代码的商业软件，没有明确的界限和划分。随着开源软件概念逐步形成，越来越多的人工智能软件选择了开源。如图1所示，人工智能开源软件的发展可以分为五个阶段：第一阶段（20世纪50年代——80年代），这一阶段人工智能刚刚诞生，人工智能软件不断出现，但由于计算机运算能力有限、模型计算复杂性不断提高，人工智能软件的发展遭遇了瓶颈；第二阶段（20世纪80年代——90年代），这一阶段专家系统被企业广泛采纳，数学模型和知识处理有重大突破，专家系统主要以商业软件为主，开源软件较少，由于专家系统成本高、应用场景局限，人工智能软件的发展再次陷入低谷；第三阶段（20世纪90年代——2007年），随着企业数据的积累、计算能力的提高和理论算法的不断发展，人工智能在自然语言处理、计算机视觉等领域的应用取得了突破性进展，特定领域的人工智能开源软件大量出现，人工智能进入复苏期；第四阶段（2007年——2012年），这一阶段开源机器学习框架推动了传统机器学习的发展与应用，使机器学习进入了繁荣期；第五阶段（2012年至今），随着GPU算力的提高、深度学习的研究与发展，大批企业、研究机构、开源组织进入人工智能领域，大批成功的开源深度学习框架和人工智能开源软件不断涌现，人工智能迎来了爆发期。

人工智能开源软件发展历程

人工智能发展历程

第一阶段

人工智能软件不断出现，但由于计算机运算能力有限、模型计算复杂性不断提高，人工智能软件的发展遭遇了瓶颈。

1960s

1956-1976

第一次成长期
 达特茅斯会议确定了人工智能的研究领域，标志着人工智能正式诞生。人工智能软件不断出现。

1970s

1976-1982

第一次低谷期
 受限于计算机的计算能力和数据量，人工智能发展遭遇瓶颈。

1980s

第二阶段

专家系统被企业广泛采纳，数学模型和知识处理有重大突破，专家系统主要以商业软件为主，开源软件较少，典型软件有：

Cyc
 XCON

1990s

1982-1987

第二次成长期
 知识处理成为了主流研究焦点，专家系统盛行，第五代计算机工程启动。

1987-1997

第二次低谷期
 人工智能再次遭遇瓶颈，基于符号处理的模型遭到反对。

第三阶段

随着企业数据的积累、计算能力的提高和理论算法的不断发展，自然语言处理、计算机视觉等领域的人工智能开源软件大量出现，典型开源软件有：

OpenCV
 NLTK

2000s

1997-2007

复苏期
 人工智能在自然语言处理、计算机视觉等领域的应用取得了突破性进展。

第四阶段

开源机器学习框架推动了传统机器学习的发展与应用，典型开源软件有：

Scikit-learn
 Mahout
 MLlib

2010s

2007-2012

机器学习繁荣期
 开源机器学习框架推动了传统机器学习的发展与应用，使传统机器学习进入了繁荣期。

第五阶段

大批成功的开源深度学习框架和人工智能开源软件不断涌现：

CNTK	Torch/PyTorch
Keras	Caffe/Caffe2
MXNet	TensorFlow
PaddlePaddle	Theano
.....	

2012-至今

深度学习爆发期

随着GPU算力的提高、深度学习的研究与发展，越来越多的企业、高校、开源组织进入人工智能领域，大批成功的人工智能开源软件不断涌现，人工智能迎来了前所未有的爆发期。

图1人工智能开源软件发展历程

1 第一次成长期

1956年达特茅斯会议正式确定了人工智能的研究领域，标志着人工智能正式诞生。达特茅斯会议之后的数年可以称得上是人工智能大发现时代，计算机程序可以解决代数应用题，证明几何定理，学习和使用英语。这一时期人工智能的研究主要集中在搜索式推理、自然语言和微世界等几个领域。在搜索式推理领域，开发者们使用相同的基本算法，如启发式算法，解决探索问题，如斯坦福大学为控制机器人Shakey开发的STRIPS系统，James Slagle开发的证明几何与代数问题的SAINT系统。在自然语言领域，这一时期程序的重要目标是让计算机通过自然语言进行交流，例如Joseph Weizenbaum开发的第一个聊天机器人ELIZA，但是实际上ELIZA只是按固定套路作答，并不知道自己在说什么。在微世界领域，SHRDLU系统成就最高，它是由Terry Winograd开发的一款可以用句子与人交流，而且根据对方的回复做出决策并回复对应语言的系统。这一时期的大发现让人们人工智能的发展充满期待，政府部门和科研机构也几乎无条件为人工智能的研究提供资金支持，例如，从1963年到二十世纪七十年代，美国国防高等研究计划局（DARPA）为MIT的人工智能研究MAC工程每年提供大约三百万美元的资金。

到上世纪70年代，由于受限于计算机计算能力和数据量，人工智能发展遭遇瓶颈，人工智能研究远未达到人们的乐观预期。由于缺乏实质性进展，资金资助机构逐渐停止对无方向性的人工智能研究的资助，到1974年已经很难再找到对AI项目的资助。

2 第二次成长期

上世纪80年代，“知识处理”成为了主流AI研究的焦点，其重要应用是专家系统，专家系统能够依靠一组从专门知识中得到的逻辑规则在某一特定领域回答或解决问题。与此同时，John Hopfield的新型神经网络和

David Rumelhart的反向传播算法使连接主义重获新生，这些突破再次点燃了人们对人工智能的希望。1981年，日本政府启动其第五代计算机工程，拨款八亿五千万美元支持该项目，该项目是为了研发出能够与人类对话，翻译人类语言，解释图像，并且像人一样推理的机器。依据这个理念，在一些领域先后出现了许多针对各自领域的专家系统，随着专家系统在商业上的成功应用，许多公司开始投入到专家系统的研发。1978年卡内基梅隆大学为DEC（Digital Equipment Corporation，数字设备公司）设计的XCON专家系统，直到1986年之前，XCON每年为公司节省四千万美元资金。1984年，Douglas Lenat发起和领导了Cyc项目，该项目试图解决常识问题，其采用的方法是建立一个巨型数据库来容纳常识，该项目同时也是开源知识图谱项目OpenCyc的基础，这一工程一直持续了几十年。然而，从80年代末到90年代初，人工智能研究暴露了诸多问题，期待的目标难以实现，进而遭遇了一系列资金问题，而资金资助机构的拨款也更倾向于那些看起来更容易出成果的项目，人工智能再次进入寒冬。

3 复苏期

90年代末期，随着计算机计算能力的增强和内存的增加，人工智能发展的硬件瓶颈逐渐被打破，低廉的硬件成本使人工智能的研究和应用更易得，即便是AI个人爱好者也可以使用计算机进行AI研究，越来越多的AI爱好者加入到这股洪流之中，极大促进了人工智能的发展，对人工智能开源软件的需求也愈发迫切。与此同时，互联网技术的发展与普及为社会创造了众多的商业机会，同时为企业积累大量数据，这些数据以图片和文本为主，是企业可挖掘的宝藏。越来越多的企业开始意识到数据的重要性，开始利用数据指导企业的决策。

1997年，IBM 深蓝（Deep Blue）战胜国际象棋世界冠军Garry Kasparov。此后，人工智能开源软件不断涌现，特别是在计算机视觉、自然

语言处理等领域，取得了重大突破。2000年，跨平台计算机视觉库OpenCV发布，OpenCV实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法^[1]，大大提高了程序的可移植性和开发效率，在人机互动、人脸识别、图像拼接和运动跟踪等人工智能领域得到了广泛应用。2001年，宾夕法尼亚大学的Steven Bird和Edward Loper开发了自然语言处理工具包NLTK，在自然语言处理领域应用非常广泛，可以用来给文本分类，符号化，提取词根，贴标签，解析，语义推理，或者打包成工业级的自然语言处理库。

4 机器学习繁荣期

随着人工智能研究的深入，机器学习算法变得越来越完善，应用领域也越来越广泛。由于机器学习算法具有极强的复用性，可以用于解决一大类问题，开源社区对机器学习框架的需求不断加深。

2007年，数据科学家 David Cournapeau发起了开源机器学习项目Scikit-learn，Scikit-learn是基于Python语言的简单高效的数据挖掘和数据分析工具，包含了几乎所有常见的机器学习算法和模型。2008年，Apache Software Foundation（ASF）推出了基于Java语言的开源机器学习框架Mahout，Mahout通过Apache Hadoop提供一些可扩展的机器学习经典算法和模型，解决了并行挖掘的问题。2010年，构建在Apache Spark之上的开源机器学习项目MLlib问世，将Spark的分布式计算应用到机器学习领域，可以与Spark SQL、GraphX、Spark Streaming无缝集成。

5 深度学习爆发期

2012年，Hinton课题组首次参加ImageNet图像识别比赛，他们构建的CNN神经网络算法夺得冠军，证明了深度学习的巨大潜力。深度学习在学术界和工业界迎来新一波浪潮，大量的科研机构和企业组织加入到深度神经网络的研究中，尤其是一些国际科技巨头公司，更是走在深度学习研究

的前列，并相继推出了一些深度学习开源框架。

2013年，Google推出开源工具Word2Vec，该工具利用深度学习的思想，通过训练将每个词映射成K维实数向量，把对文本内容的处理简化为K维向量空间中的向量运算。Word2Vec可以用来处理自然语言处理相关的诸多工作，比如聚类、找近义词、词性分析等。与此同时，Word2Vec的高效性更是使其大受欢迎，一个优化的单机版本一天可训练上千亿词^[2]，Google的各种应用已经大量使用了这个工具。

2015年，Google推出深度学习开源框架TensorFlow，它是在DistBelief的基础上研发的第二代人工智能学习系统。目前，TensorFlow被广泛地应用于语音识别或图像识别等多项机器学习和深度学习等领域。TensorFlow支持异构设备分布式计算，能够在各个平台上自动运行，从手机、单个CPU/GPU到成百上千GPU卡组成的分布式系统^[3]。TensorFlow大获成功，是目前最受欢迎的深度学习框架之一。

2016年，百度宣布开源其深度学习平台PaddlePaddle。PaddlePaddle起源于百度于2013年自主研发的深度学习平台，由于百度自身在搜索、图像识别、语音语义识别理解、情感分析、机器翻译、用户画像推荐等多领域的业务和技术方向，PaddlePaddle是一个相对全功能的深度学习框架。PaddlePaddle已实现CPU/GPU单机和分布式模式，同时支持海量数据训练、多台机器并行运算，轻松应对大规模的数据训练。此外，PaddlePaddle具有易用、高效、灵活和可伸缩等特点，是中国首个开源深度学习平台。同时PaddlePaddle也使百度成为继Facebook，Google和IBM之后世界上又一个开源深度学习框架的科技公司。

伴随着深度学习的发展，深度学习框架和行业应用蓬勃发展，越来越多的科技公司和科研机构加入到开源的潮流之中，对人工智能的发展起到了巨大的推动作用。

（二）人工智能开源软件发展现状

本章中“人工智能开源软件”是指主要应用于人工智能领域的开源软件，包括人工智能开源计算平台、开源机器学习框架和应用领域相关的开源软件等，如图2所示。大数据框架、虚拟机、容器及其管理等相关的开源软件在人工智能应用场景中发挥了重要作用，但由于其通用性，并且其主要的发展历程和发展规划相对独立，所以本章仅从如何使用其构建应用的角度进行简要介绍。此外，近年来国内外部分企业提出了人工智能操作系统、人工智能中间件等概念，期待其在开源领域的进一步发展。

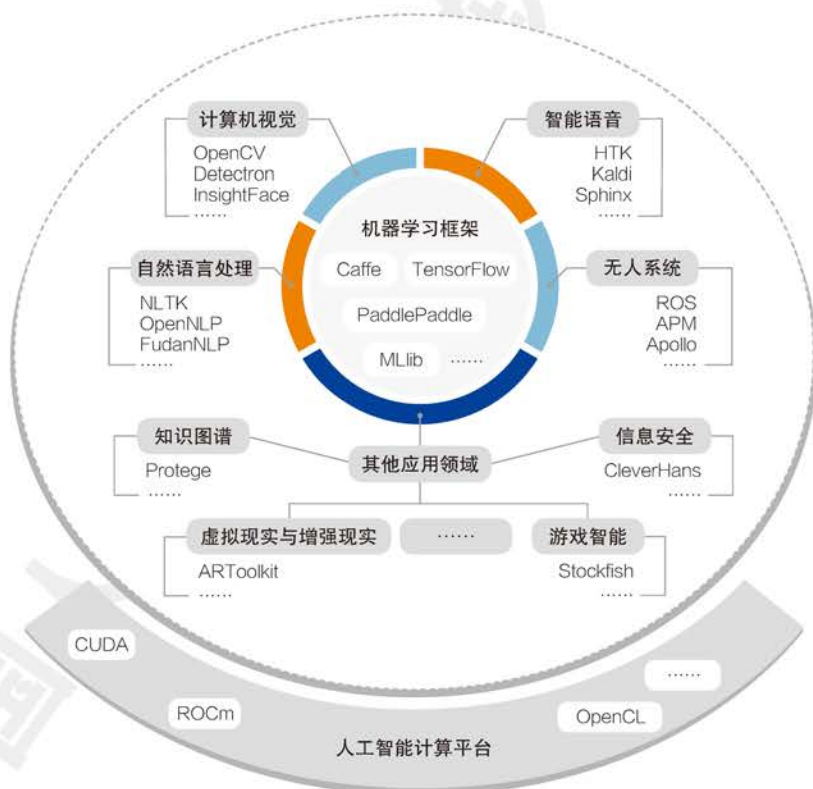


图2 人工智能开源软件发展现状

1 人工智能开源计算平台

1.1 计算平台背景

人工智能开源软件最初多运行在普通的商业服务器或云计算平台上，但是随着用户对计算力的需求急剧增长，高性能计算（High Performance Computing-HPC）系统开始从科学研究进入商业应用领域。高性能计算系统大量采用GPU、FPGA、以及各类人工智能芯片产品等加速器硬件提升计算能力。这些加速硬件由不同厂商生产，其体系结构和功能特点不同，适用于不同人工智能应用领域。目前常用的加速硬件产品包括：

GPU是专为执行复杂的数学和几何计算而设计的处理器，最初多用于图形处理任务。由于以深度学习为核心的机器学习算法对计算力的巨大需求，GPU的大规模并行计算能力开始用于机器学习算法的计算。GPU加速器的主要厂商包括NVIDIA和AMD公司。

FPGA即现场可编程门阵列，是一种高性能、低功耗的可编程芯片。FPGA通过逻辑电路实现计算功能，用户可以编程定制芯片结构，用硬件描述语言来完成算法设计实现并行计算。相对于GPU，FPGA的主要特点是以门电路直接计算，时间准确、体积小、功耗低。而且用户可以自由定义这些门电路和存储器之间的布线，优化执行方案，从而提高计算能力。虽然FPGA的绝对计算能力比不上GPU，但是FPGA可以根据特定的应用去编程硬件，其灵活性远强于GPU。

TPU是Google在2016年5月I/O开发者大会上推出的全新类别的定制化机器学习加速器定制化硬件——张量处理器。TPU的核心是一个65,536的8位矩阵乘单元阵列（matrix multiply unit）和片上28MB的软件管理存储器，峰值计算能力为92 TeraOp/s(TOPS)。TPU采用专用的处理单元以及指令集，相比于GPU，极大地提高了处理的效率。

其它人工智能芯片。除TPU外，许多厂商研制了人工智能定制芯片，将深度学习等算法直接嵌入其中。IBM、Google、Microsoft、Facebook等

国外厂家，以及寒武纪、华为等国内厂商都投巨资研发人工智能核心芯片，相继推出了基于深度学习网络算法的专用ASIC芯片。国内人工智能芯片的典型代表寒武纪系列芯片采用“数据驱动并行计算”的架构，其DianNaoYu指令直接面对大规模神经元和突触的处理，一条指令即可完成一组神经元的处理，并对神经元和突触数据在芯片上的传输提供了一系列专门的支持。该芯片能用于处理视频、图像类的海量多媒体数据。

目前，GPU是人工智能领域应用最广泛的加速计算产品，NVIDIA和AMD公司的GPU产品具有强大的并行计算能力和较为完善的加速计算平台，占据了高性能计算服务器的加速硬件主流市场。FPGA是可编程重构的硬件，可以根据特定的应用去编程硬件，这种可编程的硬件优化特性使FPGA在深度学习网络、人工智能和机器学习等领域也有广泛应用。此外，FPGA还具有快速响应特性，比GPU更适用于各种对延迟敏感的应用，如智能控制，无人驾驶等领域。定制化ASIC芯片（如TPU和大量的人工智能芯片）发展迅猛，在加速硬件市场中异军突起。与用于服务器端的GPU不同，定制化ASIC芯片具有体积小、功耗低、可靠性高等特点多用于终端（移动端）。针对软件、算法已经比较成熟和稳定的领域，如人脸识别、语音识别，专用的ASIC具备更强的优势。

1.2 典型开源计算平台

为适应商业应用领域需求，加速器硬件设备厂商在生产硬件产品的同时，也开发对应的硬件设备驱动和开发工具集为用户建立一个屏蔽底层硬件设备差异，发挥硬件产品计算能力的计算平台，例如CUDA、ROCm、OpenCL等加速计算平台。与通常的开源软件不同，这些加速计算平台与加速器硬件的体系架构紧密关联。而且，由于加速器硬件产品更新迭代迅速，其计算平台基本由设备厂商开发和维护，以保证计算平台的更新能跟随产品更新换代的速度。例如，CUDA由NVIDIA公司开发维护，ROCm由AMD公司开发维护，以适应其公司不断推出的GPU产品。TPU

由Google开发维护，专用于 TensorFlow平台。而通用性平台如OpenCL，受限于硬件的体系架构迅速变化而发展较为缓慢。但是为适应商业应用的开源需求，加速计算平台都逐步走向开源。目前ROCm、OpenCL均为开源性的平台。2012年NVIDIA公司宣布开源CUDA编译器源码，并正在逐步将CUDA完全开源。Google承诺TPU的开源模式，呼吁开发者加入TensorFlow Research Cloud计划，表示会向研究人员提供TPU资源，甚至可能开源代码。

CUDA是由NVIDIA公司2007年推出的并行计算平台和编程模型，它提供host-device的编程模式以及大量的接口函数和科学计算库，包括cuFFT、cuBLAS、cuSPARSE、cuRAND、NPP、Thrust等。开发人员可以使用其开发套件(CUDA Toolkit, NVIDIA GPU Computing SDK以及NSight等)为CUDA架构编写并程序，通过同时执行大量的线程实现算法并行处理。CUDA的应用程序涵盖了音频和视频处理、图形动画、科学计算、地质勘探、生物医学等领域。NVIDIA CUDA是目前最主流的GPU编写平台，但它不是一种开发标准，而是针对单一供应商(NVIDIA)的开发平台，仅能在有NVIDIA显卡的设备上才能执行。

ROCm是AMD公司推出的开放计算平台。2010年，AMD公司推出了AMD Radeon HD6800系列显卡，以及AMD的APP流处理技术。2015年，AMD又联合多家厂商建立了HSA异构计算基金会（HSA规范），支持CPU和GPU混合计算。2016年，AMD重构了自己的整个HPC高性能计算软件平台——“Radeon开放计算平台”（Radeon Open Compute Platform）。ROCm的目标是建立可替代CUDA的生态，并通过复制CUDA技术栈，在源码级别上完成对CUDA程序的支持。

OpenCL是由APPLE公司联合IBM、AMD、NVIDIA、Intel等众多厂商在2008年WWDC大会上提出的第一个面向异构系统通用目的并行编程的开放式、免费标准和编程规范。旨在提供一个通用的开放API，在此基

础上开发GPU通用计算软件。Khronos Group随后宣布以此次提案为基础创立OpenCL行业规范，成立GPU通用计算开放行业标准工作组。OpenCL在跨平台性和通用性上有卓越的表现。OpenCL支持包括Intel、NVIDIA、ATI、ARM在内的多类处理器，并能支持运行在CPU的并行代码。在编程复杂度上，CUDA基于C语言，且被包装成一种容易编写的代码，因此不熟悉芯片硬件构造的科研人员，也可以使用CUDA工具进行编程。而OpenCL更强调底层操作，提供了针对硬件的应用程序开发接口，授予程序员对硬件的更多控制权，因此难度较高。现成员包括AMD、三星、高通、ARM、TI、Imagination、MTK等。

1.3 小结

HPC系统采用CPU、GPU、FPGA和神经网络芯片等不同的加速硬件设备来提高计算能力，是建立人工智能软件开发平台的基础。由于GPU、FPGA、TPU和人工智能芯片等产品处于飞速发展过程中，其硬件体系结构还无法形成统一的规范，其软件计算平台也分别拥有各自的软件工具集，采用不同的商业推广模式实现上层开源框架的支持，建立了各自相对独立的软件生态环境。其中NVIDIA CUDA是目前最主流的GPGPU编写平台，作为仅针对单一供应商(NVIDIA)的开发平台，CUDA仅可以在NVIDIA显卡上执行；OpenCL则是一个由多厂商联合提出和开发维护，拥有卓越跨平台性以及兼容性的开放标准和统一编程环境；ROCm是由AMD推出的基于OpenCL标准的完整GPU生态体系，拥有CUDA大部分技术栈，且相对CUDA拥有更高的开放性。这些软件生态环境的发展前景取决于硬件产品的市场前景。在市场竞争中取得优势和垄断地位的厂商，其维护的软件平台也将同时获得更广阔的发展前景。

2 开源机器学习框架

2.1 概述

算法是人工智能技术的核心，核心算法的迭代更新推动人工智能技术飞速发展，同时也推动人工智能开源软件的快速发展。开源机器学习框架的大致发展历程如图3所示，包括统计学习开源工具、深度学习开源工具和强化学习开源工具等三个阶段。

基础机器学习算法主要包括聚类、分类和回归等统计学习算法。以支持向量机、逻辑回归和贝叶斯分类、K-Means聚类、主题模型和决策树等为代表的机器学习算法在业界有广泛的应用，可以用于解决多种领域和场景下的问题，如相似产品推荐，垃圾邮件处理等。

基础机器学习算法应用的巨大需求促进开源软件的繁荣，一系列基于基础机器学习算法的开源软件不断涌现，如Scikit-learn、Mahout、MLlib等，大大降低了机器学习的应用门槛。

随着对深度学习研究的深入，深度学习领域不断取得突破。由于深度学习算法，如CNN、RNN、LSTM等，在诸多领域的表现明显优于基础机器学习算法，越来越多的机构和个人加入到深度学习领域的研究。深度学习在图像分析、语音识别、自然语言处理、视频分类等诸多领域性能表现出

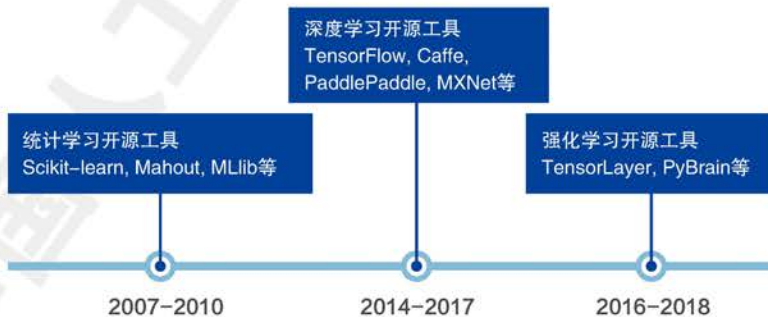


图3 机器学习框架发展脉络

色^[4]，表现出极高的研究价值和商业价值，世界顶尖高科技公司也都相继推出了自己的开源深度学习框架，如Google的TensorFlow，Amazon的MXNet，Facebook的Pytorch和Microsoft的CNTK等，出现了百家争鸣的局面。

在人工智能浪潮下，新型人工智能学习方法被不断提出。在这些新的学习方法中，强化学习最为炙手可热，该算法实现了很多高级智能，应用领域包括视频游戏的自动学习，对弈类游戏的智能决策和自动驾驶等。强化学习算法也在不断发展向前，从最初的Q-Learning和Policy Gradient方法发展到基于策略更新的算法TRPO、PPO、Actor-Critic等，再到基于价值更新的算法DQN、DoubleDQN、Duel DQN等。强化学习的发展推动开源软件的蓬勃发展，目前已有多个强化学习开源软件发布，包括提供试验环境的Universe、elf以及提供各种算法基础的开源环境TensorLayer、PyBrain等。

人工智能的巨大潜在价值使其国际间竞争日趋激烈。美国、英国和德国等西方主要发达国家甚至将人工智能提升到国家战略层面，作为提升国际竞争力的一个重要方面；诸如Google、Amazon、Microsoft和Facebook等国际顶尖高科技公司也将人工智能作为公司发展的重要战略支柱，相继推出开源人工智能学习框架，这既是对人工智能领域资源的争夺，也是提升自己的行业话语权的措施，开源机器学习框架势必继续蓬勃发展^[5]。

2.2 典型开源机器学习框架

通用人工智能开源框架的发展是伴随着人工智能技术的发展而发展的，从基础机器学习到深度学习，再到强化学习和深度强化学习，在这个过程中涌现出许多经典实用的开源通用算法框架，下面对部分经典的开源框架做简单的介绍。

Scikit-learn是专门针对机器学习开发的Python工具包，是David Cournapeau在2007年开发的基于BSD协议的开源软件。Scikit-learn几乎包含了所有常见的机器学习算法和模型，如决策树模型，贝叶斯分类器和支持向量机等，其基本功能包括分类、回归、聚类、数据降维、模型选择和

数据预处理，能够实现一些常见的监督学习和无监督学习的算法，逐渐发展成为广受欢迎的简单高效的数据挖掘和数据分析工具。但Scikit-learn不做机器学习领域之外的其他扩展，也不采用未经广泛验证的算法，使得其发展略显保守。

Mahout是基于Java语言的开源机器学习项目，是Apache软件基金会在2008年开发的基于Apache 2.0协议的开源软件。Mahout的重要特点是使用Apache Hadoop库，可以有效地扩展到Hadoop集群，解决并行挖掘的问题。Mahout实现了许多可扩展的机器学习经典算法和模型，尤其适合做聚类、分类、推荐过滤等领域的工作。Mahout的推出既是顺应大数据时代的潮流，也是人工智能开源软件发展的必然。

MLlib是构建在Apache Spark之上的开源机器学习库，是Apache软件基金会在2010年开发的基于Apache 2.0协议的开源软件。MLlib的重要特点是基于Apache Spark，这决定了其在分布式大数据处理方面得天独厚的条件，一般的机器学习算法都包含多个迭代计算的过程，而Spark基于内存的计算模式大大地降低了I/O消耗，加快了计算速度；此外，基于Apache Spark的特点使其可以轻松实现与Spark SQL、GraphX、Spark Streaming的无缝集成。MLlib实现了机器学习常见算法，包括分类、聚类和逻辑回归等算法，将机器学习算法应用到了分布式计算领域。

TensorFlow是目前最受欢迎的开源深度学习框架之一，是Google公司在2015年开发的基于Apache 2.0协议的开源软件。TensorFlow具有高度的灵活性、可移植性等特点，能很好地支持各种深度学习算法，包括卷积神经网络、循环神经网络和长短期记忆网络等深度神经网络模型；提供了丰富的构建和训练机器学习模型的API库，支持经典机器学习算法；支持异构计算和分布式计算。TensorFlow已被广泛地应用于语音识别或图像识别等多项机器学习和深度学习等领域。

Caffe是主要应用于视频、图像处理方面的开源深度学习框架，是加

州大学伯克利分校中国籍博士贾扬清在2014年开发的基于BSD协议的开源软件。Caffe具有上手快、速度快、模块化和开放性好等特点，支持GPU计算，可以在CPU和GPU之间直接无缝切换，被广泛应用于计算机视觉、自然语言处理、语音识别等多个领域。

CNTK是开源人工智能工具包，是Microsoft在2016年开发的基于MIT协议的开源软件。CNTK具有速度快、可扩展性、商业级质量以及与C++和Python兼容等优点，支持各种神经网络模型、异构计算、分布式计算，且性能优异，在语音识别、机器翻译、类别分析、图像识别、图像字幕、文本处理、语言理解和语言建模等领域都有良好的应用。目前，Microsoft也使用它来支持Skype、Cortana和必应（Bing）中的AI功能。

MXNet是Amazon官方选择的开源深度学习框架，是不同开发者在2015年合作开发的基于Apache 2.0协议的开源软件。MXNet具有很好的灵活性和可扩展性，提供了多种语言接口，包括C++、Python、R、Scala、Julia、Matlab和JavaScript等，可以运行在CPU、GPU、集群、服务器、台式机甚至是移动设备上，支持各种神经网络模型，甚至包括生成对抗网络（GAN）模型，在手写识别、语音识别、预测和自然语言处理等领域性能出色。

Torch是开源人工智能算法框架，是由Facebook、Twitter和Nvidia等机构在2007年共同开发的基于BSD协议的开源软件。Torch灵活度很高，高度模块化，内部有多个已训练好的模型，支持强化学习，支持iOS、Android等嵌入式平台，支持多种神经网络模型，尤其适用于卷积神经网络和递归神经网络^[6]；但Torch采用Lua脚本语言和C语言编写，而Lua语言不是主流语言，同时Torch缺乏像TensorFlow的分布式应用程序管理框架，使Torch的受欢迎程度大打折扣。

PyTorch是机器学习框架Torch在Python语言环境的执行，是Facebook在2017年发布的专门针对GPU加速的深度神经网络编程的Python工具

包。PyTorch使用了强大的GPU加速的Tensor计算，以及基于磁带自动系统的深度神经网络，具有快速、轻量、高灵活性的特点。

Theano是专为处理大型神经网络算法所需计算而设计的开源人工智能算法框架，是加拿大蒙特利尔大学机器学习研究所（MILA）在2008年开发的基于BSD协议的开源软件。Theano可以高效地定义、优化和评估涉及多维数组的数学表达式，适用于CPU或GPU上运行快速数值计算；但Theano的API水平较低，直接使用Theano库难度较大，且不支持分布式，大模型编译时间较长，导致Theano日渐式微。

PaddlePaddle是中国首个开源深度学习平台，是百度在2016年开发的基于Apache 2.0协议的开源软件。PaddlePaddle易学易用、高效灵活、开放彻底，支持CPU、GPU、FPGA等多款硬件，支持多机多卡并行、数据并行、模型并行等，也支持私有化的部署，同时支持CNN、RNN等多种神经网络及深度学习算法^[7]。PaddlePaddle功能完备，性能出色，在自然语言处理、图像识别、机器翻译等诸多领域应用广泛，在百度的多项主要产品和服务中发挥着巨大的作用。

TensorLayer是2016年推出的基于Apache 2.0协议的深度学习与增强学习开源软件。TensorLayer 专为研究人员和工程师设计，建立在Google TensorFlow之上，能与TensorFlow 全透明衔接，它提供高级别的深度学习API，可以加快研究人员和工程师的开发速度，因而广受欢迎，并荣获2017年ACM Multimedia (MM)年度最佳开源软件奖。TensorLayer具有易于使用、易于修改和易于扩展的优点，支持GPU计算，计算速度快，主要应用于多模式研究、图像转换和医疗信号处理等领域。

2.3 小结

随着人工智能领域竞争的加剧，通用开源算法框架的竞争也会随之加剧，它将会继续朝着易学易用、高效灵活、彻底开放的方向发展。优胜劣汰，适者生存，那些性能好、灵活性高、受广大开发者欢迎的通用开源框

架将会越来越完善，反之则会被人工智能开源化的浪潮淘汰。在人工智能的浪潮下，开源机器学习软件也会随之繁荣，必然会有越来越多的中国高科技公司走上开源之路。

3 应用领域相关开源软件

3.1 自然语言处理

3.1.1 概述

自然语言处理（Natural Language Processing, NLP）是计算机科学领域与人工智能领域中的重要方向，研究实现人与计算机之间用自然语言进行有效交互的各种理论和方法。

20世纪60年代，自然语言处理早期研究以机器翻译为主，但由于理论和技术均不成熟，进展不大，且大多数自然语言处理系统都是基于复杂人工规则实现。从80年代末开始，自然语言处理引入了机器学习算法并尝试从语料中学习统计特征。自然语言具有稀疏性和语义性等特点，如何对字、词、短语、句、段、篇章等结构进行有效表示，是研究自然语言处理需解决的首要问题。传统符号主义大多借助人工整理的规则和经验，或使用One-Hot稀疏编码将自然语言表示为计算机能接受的输入形式。前者需耗费大量人力且扩展性不强，后者易丢失语义和语序等信息且学习能力较差。

随着数据量不断积累、深度学习快速发展和计算能力飞速提升，分布式主义逐渐成为主流，即使用低维、稠密、实值的向量来表示字词等语义单元。训练词向量的过程称为词嵌入（Word Embedding），代表性工作包括Word2Vec、GloVe、fastText等。Word2Vec由Google于2013年开源，所采用的两种方法（CBOW、Skip-Gram）在开源软件Gensim中均有实现；GloVe由斯坦福自然语言处理组于2014年开源，提供了在不同语料上训练的多维词向量；fastText由Facebook于2016年开源，提供了158种语言对应

语料的预训练词向量。

如图4所示，自然语言处理的基础研究领域包括文本分类、依存分析、命名实体识别、词性标注、中文分词、情感分析、信息抽取、文本摘要等，这些任务主要在于“处理”，为后续进一步的“理解”和“应用”提供基础。国内外有很多相关开源软件，集成了以上常用的自然语言处理功能，例如NLTK、OpenNLP、LTP、Stanford CoreNLP、gensim、spaCy、FudanNLP、NLPIR、THULAC、HanLP等。

除此之外，自然语言处理还包括文本配对、问答系统、阅读理解、机器翻译、聊天机器人、对话系统等更侧重于应用的研究领域。在文本配对领域，Quora和知乎都开放了用于研究相似问题对检测等任务的数据集；在阅读理解领域，斯坦福大学于2016年通过Amazon众包平台建立了基于维基百科的数据集SQuAD，Microsoft亚洲研究院于2016年开放了基于必应搜索记录的数据集MSMARCO；在机器翻译领域，哈佛大学自然语言处理研究组于2016年开源了机器翻译系统OpenNMT，称其质量已达商用水



图4 自然语言处理研究领域开源概览

准，Facebook于2017年开源了基于CNN的机器翻译项目Fairseq，翻译速度大幅提升且准确性更高；在聊天机器人领域，Apple Siri、Microsoft小冰、百度小度等聊天机器人层出不穷而且功能不断完善。

图4按照开放数据集、基础领域、应用领域三个层次描述了NLP研究领域的开源概况。

3.1.2 典型开源软件

自然语言处理作为人工智能领域中的重要研究方向，不仅有大量应用场景，也涌现出一批开源软件和开源数据集，提供了丰富而完善的功能和语料，为研究人员提供了良好的科研基础，促进了自然语言处理研究的快速发展。本小节对部分典型开源软件予以介绍。

NLTK（Natural Language Toolkit）由Python编写，是宾夕法尼亚大学计算机与信息科学系在2001年开发的基于Apache协议的开源软件。NLTK提供包括WordNet在内的百余个语料资源，以及分类、分词、词干提取、词性标注、依存分析、语义推断等一系列功能，并维护了一个活跃的开发者论坛。除了免费、开源、社区驱动等特性之外，NLTK还提供了简易的上手教程和丰富的开发文档，在众多国家的大学课程中作为教学工具广泛使用。

OpenNLP是基于机器学习的自然语言处理工具包，是Apache Software Foundation在2010年开发的基于Apache 2.0协议的开源软件。OpenNLP提供基于机器学习的自然语言文本处理功能，包括分词、分句、分块、词性标注、命名实体识别、语法解析、指代消解等，为进一步完成后续任务提供支持。OpenNLP涵盖最大熵、感知机、朴素贝叶斯等模型，为多种语言提供预训练模型以及对应的标注语料资源，既可以通过Java API或命令行接口调用，也可以作为组件集成到Apache Flink、NiFi、Spark等分布式流数据处理框架中。

LTP（Language Technology Platform）是支持Java和Python接口的中文

处理基础平台，是哈尔滨工业大学社会计算与信息检索研究中心在2011年开发的基于GPL协议的开源软件。LTP提供中文分词、词性标注、命名实体识别、依存句法分析、语义角色标注等丰富、高效、精准的自然语言处理模块。“语言云”以LTP为基础，提供具有跨平台、跨语言等特性的中文自然语言处理云服务。

Stanford CoreNLP支持多种语言的处理，是斯坦福大学自然语言处理组在2010年开发的基于GPL协议的开源软件。Stanford CoreNLP提供词干提取、词性标注、命名实体识别、依存语法分析、指代消解、情感分析、关系抽取等功能，还集成了很多自然语言处理工具，为多种主流编程语言提供开发接口，并且支持以Web服务形式运行。

Gensim是基于机器学习的自然语言处理工具包，是Radim Rehurek在2008年开发的基于GUN协议的开源软件。Gensim提供主题建模、文档索引以及相似度获取等功能。Gensim按流式处理数据，所实现的算法不受语料大小影响，可以处理比RAM更大的输入数据。

spaCy是支持20多种语言的自然语言处理包，是Explosion AI在2014年开发的基于MIT协议的开源软件。spaCy提供词性标注、依存分析、命名实体识别等功能，以面向企业级大规模应用快速高效而著称。spaCy可用于自然语言深度学习的预处理阶段，与TensorFlow、PyTorch、scikit-learn、Gensim等Python人工智能技术体系结合使用。

FudanNLP是用Java语言编写的中文自然语言处理工具包，是复旦大学自然语言处理实验室在2014年开发的基于LGPL3.0协议的开源软件。FudanNLP提供中文分词、词性标注、实体名识别、关键词抽取、依存句法分析、时间短语识别等中文处理功能，文本分类、新闻聚类等信息检索功能，以及在线学习、层次分类、聚类等结构化学习算法。

NLPIR汉语分词系统（又名ICTCLAS）是面向中文的语义分析系统，是中科院计算所在2015年开发的开源软件。NLPIR提供中文分词、词

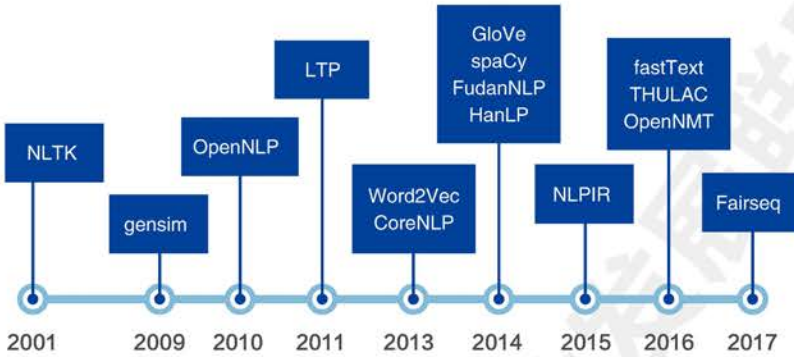


图5 自然语言处理开源软件

性标注、命名实体识别、微博分词、新词发现、关键词提取等功能，支持GBK、UTF8、BIG5等编码。

THULAC是中文词法分析工具包，是清华大学自然语言处理与社会人文计算实验室在2016年开发的基于MIT协议的开源软件，包括C++、Java、Python三个版本，主要提供中文分词和词性标注等功能，具有分词能力强、准确率较高、速度较快等特点。

对于其他自然语言处理开源软件，由于篇幅限制，此处不作详细介绍。

图5按照时间列举了常见的开源软件。

3.1.3 小结

作为人工智能领域的重要组成部分，自然语言处理在基础研究领域的相关技术已经逐步趋于成熟和完善，并且有许多完整的开源软件可供使用，进一步加速了自然语言处理的发展和应用。近年来，阅读理解、机器翻译、聊天机器人等更复杂、更综合、更系统的研究领域吸引了越来越多的关注，也取得了大量里程碑式的进展，但对应的开源软件则相对较少。希望随着研究和技术的进一步成熟，这些领域也能涌现一批高质量的开源软件，促进整个人工智能社区更好更快的发展。

3.2 计算机视觉

3.2.1 概述

计算机视觉是使用计算机及相关设备来模拟生物视觉，其核心问题是研究如何对输入的图像信息进行组织，对物体和场景进行识别，进而对图像内容给予解释^[8]。具体说来，是指用摄影机和计算机代替人眼对图像内容进行解析，实现目标识别、跟踪和测量等功能。

马尔《视觉》^[9]的问世，标志着计算机视觉成为一门独立的学科。在将近四十年的发展中，该学科经历了四个主要发展阶段：马尔计算视觉、主动和目的视觉^{[10][11]}、多视几何^[12]与分层三维重建^[13]和以神经网络为代表的基于学习的视觉^[14]。图6总结了近四十年来计算机视觉发展过程中具有代表性的理论技术和开源软件。

在计算机视觉作为一门学科的发展过程中，开源软件和数据集起到了良好的推动作用。利用开源软件，研究人员可以更加快速地更新和迭代算法。开源数据集则为研究人员提供了公平的算法测试的平台。计算机视觉的典型任务包括图像理解、三维视觉和动态视觉。图像理解主要包括图像识别、目标检测、语义分割和实例分割。图像识别判断输入

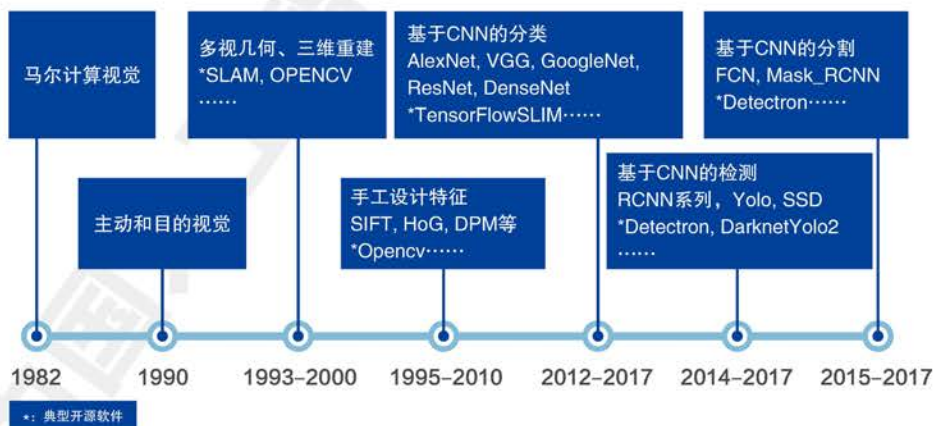


图6 计算机视觉具有代表性的理论技术和开源软件

图像类别标签，典型应用有人脸识别和光学字符识别，代表性开源数据集有mnist、cifar-10、cifar-100、Pascal VOC、ImageNet、MS-COCO、CelebA、CASIA-webface、LFW和YouTube Faces DB等，代表性开源软件有sourceAFIS、OpenBR、AsmLibrary、Insightface、Im2txt和FaceNet等。目标检测是指用外接矩形将图像中的某类目标框出来，典型应用有辅助驾驶：泊车辅助、倒车辅助等，代表性开源数据集有Pascal VOC、ImageNet和MS-COCO，代表性开源软件有TensorFlow Object Detection API和Detectron。语义分割是指像素级别的分类，典型应用有自动驾驶，代表性开源数据集有Pascal VOC、ImageNet、MS-COCO和KITTI，代表性开源软件有Detectron。实例分割在语义分割的基础上区别开不同的实例，典型应用有图片编辑，代表性开源数据集有MS-COCO，代表性开源软件有Detectron。三维视觉的目的在于获取场景的三维几何信息，典型应用有机器人自主导航，航空及遥感测量和工业自动化系统，代表性开源软件有Openvis3d和OpenGL。动态视觉即分析视频或图像序列，它被广泛应用于视频分析（如目标跟踪）以及人机交互等方面，典型应用有视频监控，代表性开源数据集有YouTube-8M，代表性开源软件有OpenVSS和ITU Gaze Tracker。典型任务及典型应用下具有代表性的开源软件在表1所示。

表1 典型任务及典型应用下具有代表性的开源软件

典型任务 典型应用	自动驾驶 辅助驾驶	生物特征 识别	图像信息 提取	其他
图像理解	Detectron	OpenBR、 FaceNet、 sourceAFIS	Im2txt	TensorFlow Object Detection API、 OpenCV
三维视觉	Openvis3d			OpenGL
动态视觉		ITU Gaze、 Tracker		

3.2.2 典型开源软件

在计算机视觉作为一门学科的发展过程中，开源软件提供了良好的推

动作用。一些从事计算机视觉研究的科研人员在发表文章的同时，也会公开对应的算法实现，它们在开源软件中占据很大的比重。随着该领域的蓬勃发展以及人员数量的快速增加，开源软件有从独立的算法实现向平台和社区化发展的趋势。本小节对部分典型开源软件予以介绍。

OpenCV于1999年由Intel建立，基于BSD许可，现由Willow Garage提供支持。OpenCV由一系列C函数和少量C++类构成，轻量并且高效，实现了很多图像处理和计算机视觉方面的通用算法。OpenCV提供Python、Ruby、MATLAB等语言接口，可运行在Linux和Windows等操作系统上，是使用最广泛的计算机视觉开源软件库。

TensorFlow Object Detection API是Google于2017年在TensorFlow平台上使用python编写的基于Apache License 2.0协议的开源目标检测算法库，包括SSD、Faster RCNN、R-FCN和Mask RCNN等算法，使用它可以轻松构建、训练和部署目标检测算法模型。

Detectron是Facebook AI Research于2018年在Caffe2上使用C++/python编写的基于Apache License 2.0协议的开源目标检测与分割算法库。其包含了一些了最先进的目标检测与分割算法，如：Fast R-CNN、Faster R-CNN、R-FCN、RPN、Mask R-CNN和RetinaNet等，提供了在不同骨干网络(resnet-50、resnet-101、resnet-152、resnetxt-50、resnetxt-101、resnetxt-102、VGG16、FPN)、不同学习率和batch size在多个经典数据集上的实验结果。利用其提供的预训练模型，研究人员可以快速试验和评估新的想法。

InsightFace是DeepInsight于2018年在MXNet上使用python编写的基于MIT协议的人脸识别算法库，包含人脸识别所用的经典损失函数如Softmax、Sphereface、CosineFace、ArcFace、Combined Margin和TripletLoss，在公开人脸识别数据集拥有较优的性能。

Tesseract是HP在2005年贡献给开源社区，后来由Google接手维护，

持续对其改进和优化，tesseract使用C++编写的基于Apache License 2.0的开源OCR软件，Tesseract支持C++、python、Java调用，接口友好。由于其完整的功能，可以训练的特点，在开源后备受关注，但在近些年来，逐渐被基于深度学习的OCR超越。

3.2.3 小结

平台化和社区化是计算机视觉领域开源软件发展的趋势，使得研究人员更容易推广新算法，同时沟通效率也更高。好的平台和社区呈滚雪球之势，吸引越来越多的研究人员，发挥越来越大的作用，并享有越来越大的话语权。尽管目前中国研究人员在计算机视觉领域的研究十分活跃，但仍缺乏在世界范围内享有知名度的计算机视觉开放平台和社区。相信在不久的将来，中国研究人员会回归基础和平台型项目，在计算机视觉开源软件领域发挥越来越大的作用。

3.3 智能语音

3.3.1 概述

智能语音是实现人机语言通信的技术，主要包括语音识别和语音合成。语音识别是将人的语音转换为文本的技术。语音合成是把文本信息转化为语音信号的技术。

语音识别的研究开始于1952年贝尔实验室的研究人员实现的针对特定说话人的英语数字孤立词语音识别系统。60年代以后，RCA实验室提出并实现了解决语音时长不统一的归一化打分机制。前苏联的Vintsyuk提出把两个长度不同的语音进行时间对齐的动态规划算法。70年代，语音识别研究重心转到了研究大词表连续语音识别技术。90年代以后，HMM整体框架设计成为该领域研究的基础。目前，深度学习已经广泛应用到语音识别的研究当中。图7总结了语音识别发展过程中具有代表性的理论技术和开源软件。

语音合成的研究始于1939年贝尔实验室研制的第一台采用共振峰原

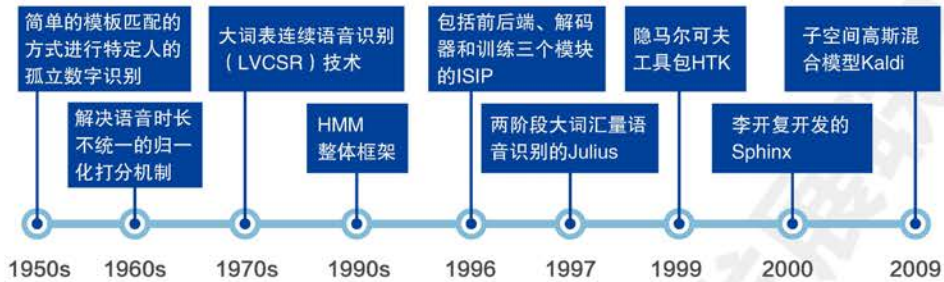


图7 语音识别具有代表性的理论技术和开源软件

理的电子合成器。1980年提出串/并联混合型共振峰合成器。20世纪80年代末，基音同步叠加时域波形修改算法的提出更好地解决了语音段拼接问题。20世纪90年代末，基于大语料库的语音基元选取算法和波形拼接算法的提出可以合成更高质量的语音，基于隐马尔可夫模型的统计参数语音合成技术取得不错的效果。现在深度学习算法已经广泛应用于语音合成技术。图8总结了语音合成发展过程中具有代表性的理论技术和开源软件。

语音识别的典型任务主要包括稳健语音识别和说话人自适应技术等。稳健语音识别是当输入语音质量不高或语音特性变化时，在复杂、多变的声学环境下以较高精度识别语音的技术。说话人自适应技术可以通过解析不同说话人之间的差异问题来识别非特定人的语音。

语音合成的典型任务主要包括具有丰富表现力的语音合成和多种语言语音合成技术。具有丰富表现力的语音合成技术可以提高语音合成的表现



图8 语音合成具有代表性的理论技术和开源软件

力，而不仅仅以固定朗读的方式将语音输出。多种语言语音合成技术可以理解不同的语言，针对收听者的不同国籍等特征，将语音合成推广到多语种语音合成平台。

智能语音的典型应用主要有智能语音交互、语音控制和生物特征信息验证等。智能语音交互是基于语音输入的应用，说话人通过语音即可收到反馈结果。智能语音交互在语音助手、智能导航、智能家居等方面有着广泛的应用。语音控制技术可以识别、理解语音信号，将人类的语言命令转化为相应命令。生物特征信息验证通过与语音识别技术相结合，可以利用人类声音固有的生理特性和行为特征来对个人身份进行鉴定。表2列举了智能语音领域的一些典型应用。

表2智能语音领域的典型应用

典型应用	典型任务	智能语音交互	语音控制	生物特征信息验证
稳健语音识别		HTK、Kaldi	HTK、Kaldi	HTK、Kaldi
说话人自适应技术		Sphinx、Kaldi	Sphinx、Kaldi	Sphinx、Kaldi
大词汇量连续语音识别		HTK、Kaldi	HTK、Kaldi	HTK、Kaldi
高自然度语音合成		HTS、Merlin		

3.3.2 典型开源软件

智能语音作为人工智能领域中的重要研究方向，有大量开源软件和开源数据集，为该领域研究人员提供了良好的科研基础，促进了智能语音研究的快速发展。本小节对部分典型开源软件予以介绍。

语音识别

ISIP是开源语音识别工具包，是美国密西西比州立大学在1996年开发的开源软件，包括后端、解码器和训练三个模块。

Julius是高性能、大词汇量的语音识别开源工具包，是日本名古屋工业大学在1997年开发的基于APGL-3.0协议的开源软件。**Julius**基于Linux、Unix，以及Windows平台，主要应用于语音识别领域。

HTK是隐马尔可夫工具包，是剑桥工学院机器智能实验室开发的基于MIT协议的开源软件。HTK通过训练隐马尔可夫模型，主要应用于语音识别、语音合成以及DNA序列等领域。

CMU sphinx是开源语音识别工具包，是CMU Sphinx组在2000年开发的基于GPL-2.0协议的开源软件。

Kaldi是使用C++语言编写的语音识别工具，是约翰霍普金斯大学在2009年开发的基于Apache协议的开源软件，重点应用于子空间高斯混合模型（SGMM）建模。

语音合成

MARY是用Java语言开发的多语言语音合成平台，是德国人工智能研究中心在2014年开发的基于MIT协议的开源软件，支持德语、英语、俄罗斯语和土耳其语等语音合成。

Festival是通用的、用于构建语音合成系统的开源框架，是英国爱丁堡大学语音技术研究中心在2004年开发的基于BSD协议的开源框架，除了支持多种语言的语音合成外，还可以支持Apple原生操作系统。

eSpeak是开源的语音合成工具包，是Jonathan Duddington在1995年发布的用于支持RISC系统的英语语音合成开源软件。eSpeak支持SSML（语音合成标记语言），具有处理文本的功能。

Filte是小型、快速运行的语音合成工具包，是卡耐基梅隆大学在2001年开发的基于GPL 3.0协议的开源软件，主要应用于小型嵌入式机器和大型服务器。

HTS是基于HMM模型的语音合成工具包，是日本名古屋工业大学在2002年开发的基于BSD协议的开源软件。HTS不仅可以提供自适应训练、参数生成等算法的实现，可以用来对话料库的语音数据进行训练，实现基于统计参数的语音合成。

Merlin是基于神经网络的语音合成开源工具包，是英国爱丁堡大学于

2016年开发的基于Apache 2.0协议的开源软件，主要用于训练基于深度神经网络的统计参数语音合成模型。

开源数据集

一些学术机构开放了语音数据集，而大多数公司使用的语音数据集并未开放。典型的开放语音识别数据集包括经典的英语语音数据集TIMIT、2000 HUB5 English、含有近500个人的文本和语音的Libri Speech、侧重于不同口音的VoxForge、应用于不同噪声环境下的CHIME等。典型的开放语音合成数据集包括CMU语言技术研究所开源的CMU_ARCTIC等。

3.3.3 小结

目前，我国从事智能语音相关研究领域的研究人员和企业呈现出快速增长的趋势。但是由于国内开源平台和社区起步较晚，缺乏类似国外成熟的开源社区和平台。随着我国智能语音技术的不断进步和发展，希望在不久的将来可以涌现出一批与智能语音相关的成熟的开源软件平台和社区，为国家智能语音领域的发展做出贡献。

3.4 无人系统

根据应用领域的不同，无人系统可以分为机器人、无人驾驶、无人工厂、无人仓库与物流、无人零售等。目前机器人从应用领域角度主要分为两大类：工业机器人和服务机器人。而无人驾驶可分为无人驾驶飞机（无人机）、无人驾驶汽车、无人驾驶船舶，轨道交通自动驾驶等。无人系统的技术分类主要包括共性技术和各领域内的特性技术。无人系统共性技术主要包括无人系统计算架构、复杂动态场景感知与理解、实时精准定位、面向复杂环境的适应性智能导航等技术^[15]。这些共性技术涉及计算平台、计算机视觉、定位、通用框架等多个类别，已在相应章节提及，不再详述。各领域内各自包含一些重点特性技术，如机器人中的服务机器人、特种机器人核心技术；无人机的自主控制技术，汽车、船舶和轨道交通的自动驾驶等智能技术等。伴随信息技术和智能制造的发展，近年来催生了大

量民用的无人系统技术及产品，正在迈向与传统行业的互相融合，涉及到的领域也越来越广泛。

3.4.1 机器人

3.4.1.1 概述

现代意义上的机器人发展基本从上世纪开始。由于历史原因，长期以来机器人市场中各开发商几乎没有技术交流，产品开发由各机器人公司各自完成，各家机器人厂家直接针对特定的硬件、平台以及应用环境来进行独立开发，软件层面没有通用的操作系统。比如瑞典ABB Robotics公司的工业机器人IRB6，应用于工件的取放和物料搬运；瑞士Staubli的SCARARS的工业机器人，通过过程参数管理实现精确的轨迹控制；日本FAUNC公司的R-2000iA多功能智能机器人，能捡起随意堆放在车间的零件。国内起步较早的是哈工大机器人，率先研发出我国第一台电焊、弧焊、爬壁、月球车等多类型机器人。沈阳新松、航天赛能和首钢莫托曼机器人等公司也积极研发机器人，并取得了一定成果。由于缺乏有效沟通，导致行业存在针对基础功能重复编写的现象。这类问题不仅增加了各公司的研发成本，还引入了各种软件缺陷。随着机器人商品化的成熟，此类问题逐渐引起重视，一些大学和科研机构陆续推出一批较为成熟的机器人开源操作系统。一方面是为了减少人力物力在一些基础功能上的浪费，避免重复开发已经成熟的技术；另一方面，也是希望为机器学习、进化计算、模糊逻辑等人工智能技术打好平台基础，从而集中精力在已有操作平台上进行专项研发。

3.4.1.2 典型开源软件

ROS (Robot Operating System) 是专为机器人软件开发设计的一套操作系统架构。2010年，由Willow Garage联合斯坦福大学等科研机构开发完成了ROS的一个稳定版本Box Turtle。其体系和传统的操作系统类似，核心层使用C++语言编写，真正完成操作系统功能；外围层类似于操作系统

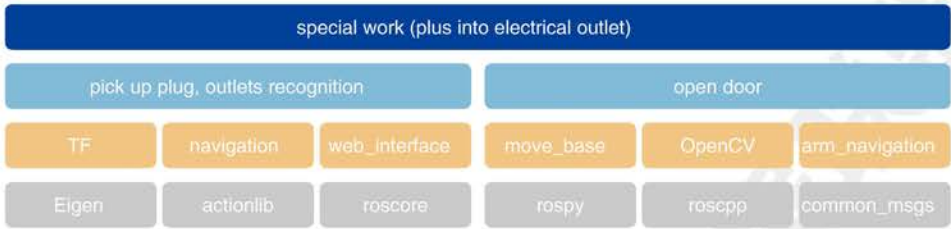


图9 ROS整体架构设计示例图

的shell层，具体包括各种软件功能包，如定位构图、导航规划、感知、仿真等。TensorFlow、Movidius，Caffe等都可与ROS系统无缝连接。ROS整体架构设计示例图如图9所示。

基于ROS开发的机器人软件可以提供一套标准操作系统的服务功能，包含硬件抽象、底层设备控制、消息机制、序列化和反序列化、IPC、数据功能包管理、自定义构建过程等。ROS已成为机器人开发的行业标准，各公司基于ROS提供的基础功能开发特定功能。2017年12月，ROS2.0发布。ROS2是对ROS的全方位升级：支持多机器人控制，大幅提升网络传输稳定性；可以直接搭载在市售商品中；支持对微控处理器的控制；支持实时控制功能；采用DDS为技术核心，增强了数据的实时性、持续性及可靠性。

MOOS-Ivp (Mission Oriented Operating Suite, Interval Programming) 是麻省理工学院开发的开源智能机器人系统底层平台，主要面向于自动驾驶领域。这套软件可以运行于多个平台，通过控制中控机并结合智能算法分析各种传感器数据，为无人车控制系统实现前进、速度、转向等功能。该系统还具备模块独立性，MOOS和IvP Helm分别提供自动驾驶和感知功能，耦合度低，此架构优点被很多开源软件吸收。

MRPT (Mobile Robot Programming Toolkit) 聚焦于机器人的移动和计算机视觉功能，提供了SLAM方案、3D空间几何学类库、概率密度函数等，尤其还提供了卡尔曼滤波和粒子滤波的具体代码实现。目前该系统部分功能已被ROS社区接受，相应的功能包是mrpt_slam和mrpt_navigation。

DART (Dynamic Animation and Toolkits)是由华盛顿大学、开源机器人基金会、开放源代码图形实验库和仿人机器人实验室共同开发的跨平台软件库，主要为机器人动力学和计算机动画中运动学提供数据结构和算法，具备很好的准确性和稳定性，内部使用雅可比矩阵高效地实现了类似ROS系统中TF坐标解算库的功能。此外，该软件还具有以下特征：与仿真软件Gazebo无缝整合；支持URDF和SDF格式模型加载；内置碰撞检测库FCL和Bullet。

3.4.1.3 小结

随着ROS及其代码库的日趋完善，机器人开源操作系统的未来发展道路日渐明朗。一方面，其他操作系统正在努力的发掘自身特点，争取在某一领域实现突破，以保持市场占有率，如MOOS-Ivp在水下机器人领域与多家知名企业进行深度合作；另一方面，也出现了深度定制版本的ROS，针对ROS中某项功能进行再优化，如NXROBO OS在语音编程上进行了再开发，激发儿童对机器人的兴趣。总体而言，机器人开源操作系统从根本上改变了机器人产业的格局，一方面大幅度降低了机器人的商品化成本，让各企业有充足的资金进行新技术的开发；另一方面降低了机器人行业的准入门槛，吸引了各个领域内的大量人才，使整个机器人系统得以快速发展。机器人操作系统的开源化，将为整个机器人产业的软件技术发展打下坚实的基础。

3.4.2 无人驾驶

3.4.2.1 概述

根据应用领域的不同，无人驾驶可分为无人驾驶飞机（无人机）、无人驾驶汽车、无人驾驶船舶，轨道交通自动驾驶等。其中，无人机和无人驾驶汽车是无人领域较为热门的两个发展方向，参与开发者多，面向受众广且应用前景良好，产生了大量开源项目。

无人机是无人驾驶技术发展较久的领域，最初发展可追溯到一战时

期。之后军用无人机被运用于各大战场执行任务。然而由于当时的技术条件限制，发展较为缓慢。随着科技的发展，无人机技术逐渐成熟，1982年以色列首创无人机与有人机协同作战，此后无人机在海湾战争中的重要作用引起了各国重视，无人机真正进入快速发展阶段。由于原来的无人机体积大，目标明显且不便携，21世纪初，出现了迷你无人机，机型小巧，性能更稳定。同时，无人机的优秀性能加速了民用市场的蓬勃发展，先后出现了大疆、3D Robotics等公司。无人机系统的自主控制技术是其核心关键技术^[16]。无人机技术的迅速发展使得很多优秀开源项目诞生，它们针对整体的无人机自驾系统或无人机智能化以及环境感知等各个方面。根据无人机自主控制能力的强弱，美国国防部在2000-2007年间发布的一系列无人机路线图中，将无人机划分为10个等级。

无人驾驶汽车最早可追溯到1925年，历经近百年的发展，已成为当下的热门研究领域。2009年，Google开始研发无人驾驶汽车项目Waymo，搭载它的无人驾驶汽车安全行驶了30万英里。之后包括通用、福特、特斯拉等在内的大型汽车公司也都开始研发无人驾驶汽车技术。无人驾驶汽车技术的界定通常采用国际自动机工程师学会（SAE）的分类标准，分为：未实现自动驾驶（0级）、驾驶支援，对方向盘或加减速进行辅助（1级）、部分自动化，对方向盘等多项功能进行辅助但驾驶员应准备随时予以接管（2级）、有条件自动驾驶，驾驶员适当干预（3级）、满足一定的道路条件的高度自动驾驶（4级）、完全自动驾驶（5级）。与国外相比，国内的汽车智能化发展在技术、理念上有所落后。我国在自动驾驶领域的研究起步于20世纪80年代。2015年百度实现了无人驾驶汽车的道路测试。北汽、比亚迪等公司逐步涉足无人驾驶领域^[17]，分别代表着以科研机构、IT企业为主的颠覆式发展路线和以传统车企为主的渐进式发展路线。

在自动驾驶的发展路径上，主要有封闭系统和开放平台两种模式。封闭系统是汽车产业长期以来的主要发展模式；开放平台则是一种全新的模

式，能够基于平台成员间的数据、技术共享，实现加速创新。此外，与封闭系统相对应，开放平台所承载的软件、数据和相关服务，将在未来汽车产业价值链中占据越来越重要的位置。基于开放的自动驾驶平台，生态中的企业、成员间能够实现技术、数据共享和市场、有利于加速创新和商业化进程，帮助汽车产业掌握智能化时代的自主核心技术。

3.4.2.2 典型开源软件

无人驾驶飞机的开源进程在无人驾驶领域开展较早，技术较为成熟，项目数量较多。

APM (ArduPilot Mega) 是当前无人机飞控系统中非常强大和广为开发者接受的基于惯性导航的开源自驾仪。该项目的发展可追溯到2007年。2009年，Chris Anderson等人成立了3DRobotics (3DR) 并创建了ArduPilot代码库。该系统适配多种无人机类型，并且开发了Mission Planner地面站，集成了Mavlink协议，在固定翼、多旋翼、VTOL等机型得到应用。

PX4开源项目始于苏黎世联邦理工大学计算机视觉与几何实验室的PIXHAWK项目，是一个包含了软硬件的开源项目。该项目提供了一个高性能的自驾仪。PX4系统拥有良好的软件架构，相对于APM引入了uORB消息订阅发布机制，并使用了Linux内核作为实时操作系统，开发更加模块化。目前，国内有很多高校和公司基于PX4进行开发。PX4拥有比较完善的配套地面站模块QGC及良好的硬件飞控平台Pixhawk，适用于多款机型如固定翼、多旋翼和VTOL等，还集成了仿真软件接口，如Gazebo，X-plane等。

无人驾驶汽车的开源项目大多从近几年开始发展，起步晚但热度高，社区活跃。

Apollo (阿波罗) 是百度于2017年4月19日推出的自动驾驶开放平台。这是全球范围内自动驾驶技术的第一次系统级开放。Apollo开放平台包括云端服务平台、软件平台、参考硬件平台和参考车辆平台四大部分，

通过四层架构全方位构建了能够实际运行的自动驾驶系统，并通过开放代码、开放能力和开放数据三种形式，为开发者及合作伙伴提供了一套覆盖车辆、硬件、软件和云端服务的系统级解决方案。

Autoware是由Tier IV维护的用于城市自主驾驶的开源软件，基于ROS，支持3D本地化、3D映射、路径规划、路径跟随、加速/制动/转向控制、数据记录、汽车/行人/物体检测、交通信号检测、交通灯识别等功能。项目中定位通过3D地图和SLAM算法结合GNSS和IMU传感器实现，检测依靠相机和激光探测结合传感器融合算法和深度神经网络进行。

Openpilot是由自动驾驶公司Comma.ai研发的一个开源的自动驾驶平台。它已经实现为东风、丰田和讴歌提供主动式定速巡航系统（ACC）和车道保持辅助系统（LKAS）的功能。该项目还支持快速建立原型。

3.4.2.3 小结

无人驾驶是技术发展到一定程度的必然趋势。无人驾驶系统代替人工甚至超越人工的优越性及市场的正面反应，使得无人驾驶技术在世界范围内得到高速发展并将保持这个趋势。

在无人驾驶飞机方面，随着硬件计算平台的发展及无人机的广泛应用，参与到无人机开源项目中的人数逐步增多。无人机基于现有比较完善的控制和导航相关算法和功能，已经解决了飞行自动控制的问题，但还没有完全解决智能自主控制问题。随着以人工智能为代表的新一轮信息技术革命的进展，无人机技术仍将不断进步，集成更多传感器和更强的计算平台。在实现基本飞行功能基础上，将会增强无人机环境感知、智能避障、智能决策及人机交互等能力，未来将对人类生活方式、行业应用模式、战争形式等做出重大影响和改变。

在无人驾驶汽车方面，技术的界定通常采用国际自动机工程师学会（SAE）的分类标准，分为：未实现自动驾驶（0级）、驾驶支援，对方向盘或加减速进行辅助（1级）、部分自动化，对方向盘等多项功能进行

辅助但驾驶员应准备随时予以接管（2级）、有条件自动驾驶，驾驶员适当干预（3级）、满足一定的道路条件的高度自动驾驶（4级）、完全自动驾驶（5级）。面向L4以上的自动驾驶系统不仅需要算法及技术的迭代，更需要工程化与实践的演进。在开放生态中，所有参与者每一天行驶的道路，每一天测试的场景，都会以数据化的形式汇聚在一起，推动算法的不断迭代优化，进而再把自动驾驶的能力共享给参与各方，形成一个多方参与、共享升级的良性循环，从而大大加快创新的速度。与封闭系统相对应，基于开放的自动驾驶平台，生态中的企业间能够实现技术、数据共享和商业共赢，加速创新和商业化进程，帮助中国汽车产业掌握智能化时代的自主核心技术，由汽车大国向汽车强国升级。因此在自动驾驶的发展中，开放开源的数据和平台占有极为重要的地位。

可以预见的是，人工智能将会给无人驾驶技术带来巨大的变化。但是，无人驾驶系统发展过程中产生的诸多安全以及伦理问题，还需要进一步地思考与解决。

3.5 其他应用领域

3.5.1 知识图谱

3.5.1.1 概述

知识图谱 (Knowledge Graph)是一种基于图的数据结构，由节点(Point)和边(Edge)组成。在知识图谱里，每个节点表示现实世界中存在的“实体”，每条边为实体与实体之间的“关系”^[18]，实体和关系又有其自身的“属性”。实体、关系和属性构成知识图谱的核心三要素。

知识图谱本质上是语义网络 (Semantic Network)。目前知识图谱这个概念最早由Google在2012年提出，主要是用来优化现有的搜索引擎。最近，知识图谱慢慢地被泛指各种大规模的知识库^[19]。知识图谱的构建属于知识工程的范畴，其发展历程如图10所示。

知识图谱从其知识的覆盖面来看可以分为开放域知识图谱和垂直领

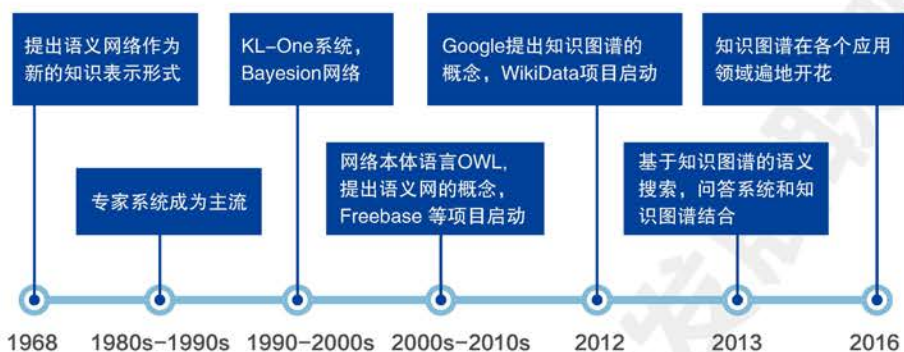


图10 知识图谱的发展历程

域知识图谱，前者主要是百科类和语义搜索引擎类的知识基础，后者在金融、教育、医疗、汽车等垂直领域积累行业内的数据而构成。

知识图谱相关的关键技术包括构建和使用。知识图谱的构建有自顶向下和自底向上两种方法，现在大部分情况会混合使用这两种方法。知识图谱的构建应用了知识工程和自然语言处理的很多技术，包括知识抽取、知识融合、实体链接和知识推理^[20]。知识的获取是多源异构的，从非结构化数据中抽取知识是构建时的难点，包括实体、关系、属性及属性值的抽取。对不同来源的数据需要做去重、属性归一及关系补齐的融合操作。同时，根据图谱提供的信息可以推理得到更多隐含的知识，常用知识推理方法有基于逻辑的推理和基于图的推理^[11]。知识图谱的使用需要自然语言处理和图搜索算法的支持。

知识图谱在语义搜索、百科知识及自动问答等方面有着很典型的应用。在语义搜索领域，基于知识图谱的语义搜索可以用自然语言的方式查询，通过对查询语句的语义理解，明确用户的真实意图，从知识图谱中获取精准的答案，并通过知识卡片等形式把结果结构化地展示给用户，目前具体应用有Google、百度知心、搜狗知立方等。在百科知识领域，知识图谱构建的知识库与传统的基于自然文本的百科相比，有高度结构化的优

势。在自动问答和聊天机器人领域，知识图谱的应用包括开放域、特定领域的自动问答以及基于问答对（FAQ）的自动问答。比如IBM的Watson，Apple的Siri，Google Allo，Amazon Echo，百度度秘以及各种情感聊天机器人、客服机器人、教育机器人等。

3.5.1.2 典型开源软件

知识图谱在开源领域包括开源知识库、开源知识图谱构建工具。

a) 开源知识库

Freebase是一个大规模链接数据库，是由硅谷创业公司MetaWeb于2005年启动的基于Creative Commons Attribution协议的语义网项目。Freebase主要采用社区成员协作方式构建，其数据源主要包括Wikipedia、NNDB、Fashion Model Directory、MusicBrainz和社区用户贡献等。Freebase基于RDF三元组模型，共有19亿条三元组，底层采用图数据库进行存储。2010年，Freebase被Google收购作为其知识图谱数据来源之一。2016年，Google宣布将Freebase的数据和API服务都迁移至Wikidata，并正式关闭了Freebase。

WikiData是免费开放、多语言、任何人或机器都可以编辑修改的大规模链接知识库，是由维基百科于2012年启动的基于Creative Commons Attribution协议的项目。WikiData继承了Wikipedia的众包协作构建机制，但与Wikipedia不同，WikiData基于以三元组为基础的知识条目的自由编辑，目前已经有超过4667万条知识条目。

DBpedia是由OpenLink Virtuoso托管和发布的基于GPL协议的开源知识库。DBpedia以互联网挖掘的方式从各种维基媒体项目创建的信息中提取结构化内容，以机器可读的形式存储知识，并提供信息收集、组织、共享、搜索和利用的手段。DBpedia 2014年发布的版本包含30亿条三元组。DBpedia知识库与现有的知识库相比有几个优点：涵盖领域多、代表真实的社区协议、会随着维基百科的变化而自动演变、多语言。DBpedia知识库的

用例非常广泛，包括企业知识管理、Web搜索以及维基百科搜索的革命。

YAGO是一种基于链接数据库的开放语义知识库，是由德国马普研究所与巴黎电讯科技大学于2007年开始的基于Creative Commons Attribution协议的联合项目。YAGO主要集成了Wikipedia、WordNet和GeoNames三个来源的数据，包含1.2亿条三元组知识，其功能包括作为一个分类单元直接连接到DBpedia云知识库。目前YAGO在SUMO Ontology项目、DBpedia计划、UMBEL Ontology项目以及Freebase等项目中提供相关知识库支持，同时它也是IBM Watson的后端知识库之一。

其他的开放知识图谱有：ConceptGraph、BabelNet、CN-DBpedia、OpenKG等。

b) 开源构建工具

Protege是基于Java语言开发的本体编辑和知识获取软件，是斯坦福大学医学院生物信息研究中心于1999年发布的基于BSD 2-clause协议的开源软件。Protege提供本体概念类、关系、属性和实例的构建，不基于具体的本体描述语言，因此用户可以在概念层次上构建领域本体模型。

除了Protege，还有Stanford OpenIE、Tuffy、OpenKE、Grakn等应用于知识图谱构建的开源软件。但它们普遍受到的关注度不高，这在一定程度上体现出了知识图谱领域用于构建图谱的开源软件的匮乏。

完整的知识图谱构建还包括知识的存储。知识图谱有两类存储方式，一类是传统的RDF结构存储，RDF 标准的结构化查询语言是SPARQL；另一类是图数据库，它可以弥补传统关系型数据库在存储知识图谱时查询复杂、缓慢的缺陷。目前常用的图数据库软件包括Neo4j、OrientDB、ArangoDB和AllegroGrap等。

3.5.1.3 小结

知识图谱提供了一种新的数据和知识组织方式，能够让多源异构的数据知识化，基于知识图谱能够建立各种知识服务和智能应用。知识图谱在

金融、医疗、农业、法律等很多垂直领域的应用已经得到了迅速地展开，范围越来越广，程度由浅入深。但知识图谱的构建和应用具有很大的技术难度，需要自然语言处理、数据库和语义推理等多重技术的支持。

3.5.2 虚拟现实与增强现实

3.5.2.1 概述

虚拟现实（Virtual Reality，VR）技术通过各种感知设备，获得人的头部转动、手势或其他人体行为动作，生成与参与者的动作相适应的数据，并实时反馈到用户的感知器官^[21]。通过这种方式，用户在与现实世界隔绝的环境中获得完全沉浸式的体验。

增强现实（Augmented Reality，AR）技术从真实世界出发，通过传感器数据对三维世界进行感知和理解，在真实世界的基础上添加需要增强的内容。增强现实保留了用户与现实世界进行交互的余地，用户感受到的信息有部分来自现实世界，与虚拟物体共同构成一个视觉感知空间^[22]。

早在1968年Ivan Sutherland和他的学生一起开发了第一个头戴显示器，为用户展示一些计算机生成的图像。1966至1986年“虚拟现实之父”Thomas A.Furness为空军开发用于战机驾驶模拟的设备。1989至1994年，虚拟现实和增强现实的相关概念被提出，并有了明确的定义。1999

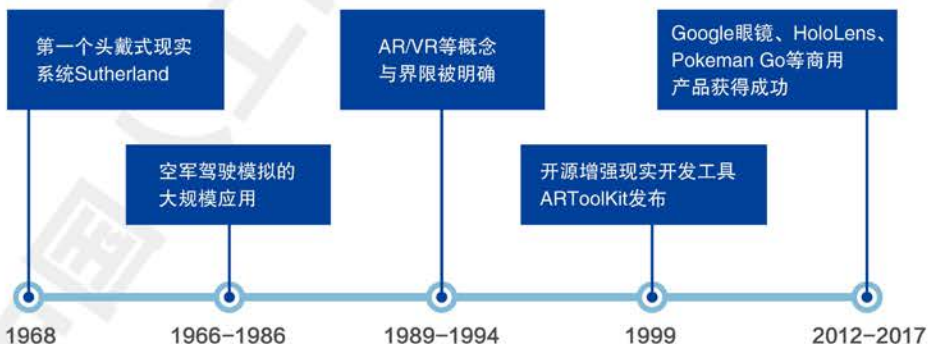


图11 VR/AR的发展历程

年，奈良先端技术大学院大学开发了增强现实开发工具ARToolKit，这是第一个开源AR开发框架。2012年至今，陆续有Google眼镜、HoloLens、Pokeman Go等商业产品出现^[23]。目前在Facebook，Google，Apple等公司都有致力于VR/AR研究的小组，图11展示了VR/AR发展历程。

虚拟现实和增强现实技术的应用领域十分广泛。在军事领域，模拟训练可以大幅减少训练成本；在医学领域，虚拟人体模型可以用于医学生的教学，模拟手术可以增加手术的成功率；在游戏领域，新的VR/AR游戏正在逐年增多，沉浸感强等优点使这些游戏更容易受到欢迎。除此之外，在教育、工业、商业等领域虚拟现实和增强现实也都有很大的潜能^[24]。

3.5.2.2 典型开源软件

在AR/VR的发展过程中，涌现出了很多优秀的开源软件。初期，大部分软件的开发是用于学术研究，选择的编程语言大多数是执行效率较高的C/C++。随着各种基础框架和编程语言的涌现，现代VR/AR开源软件有一部分开始迁移到天生具备跨平台能力的浏览器端。另外由于开源软件整体的蓬勃发展，现代的VR/AR相关框架的开发也不再从零构建，而是以OpenCV、three.js等基础图形处理库为基础。以下按照时间线介绍多款开源软件。

ARToolKit是使用C/C++编写基于LGPL 3.0协议的AR开发库，是奈良先端科学技术大学院大学在1999年开发，并由华盛顿大学的HIT实验室发布第一个开源版本的开源软件。ARToolKit支持光学投射式头盔，支持多Marker点、无Marker的识别与跟踪，以及更稳定的多相机标定方案。ARToolKit支持大部分主流平台，同时可以作为Unity游戏引擎的插件使用。

PTAM是基于GPL 3.0协议的单相机SLAM（同时定位和映射）的系统，是牛津大学主动视觉实验室于2008年开发的开源软件。PTAM最初是为了学术研究而开发的系统，使用C++编写，可用于小场景中的实时摄像机跟踪。

A-Frame是基于MIT协议的网页虚拟现实体验框架，是Mozilla于2015发布的开源软件。A-Frame旨在让创建VR应用变得更加简单，可以只使用HTMLchuan构建常见3D对象。A-Frame可以在移动端、桌面端、Vive和Oculus Rift在内的平台上运行，跨平台处理3D和WebVR模板。A-Frame被设计成Web开发者熟悉的模样，代码易于阅读和重用。

Lullaby是基于C++编写的虚拟现实和增强现实的开发库，是Google在2017年发布的基于Apache2.0协议的开源软件。Lullaby设计为实体-组件-系统的架构，运行时保证了高效的性能。除了C++外，它还提供Java接口，方便Android开发者使用。

AR.js是基于Thread.js和ARToolKit开发的AR开发库，是Jerome Etienne于2017年开发的基于MIT开源协议的开源软件。AR.js拥有极高的运行效率，在Nexus 9上能达到60帧左右。目前它是GitHub社区里最热门的AR开源库之一。

3.5.2.3 小结

虽然现在VR与AR已经成为热门话题，但是目前的技术还无法制造出完全令人满意的VR/AR应用。目前的应用存在设备过重带来额外负担、延迟较高导致不适感、虚拟化的信息质量不高等问题存在。但伴随人工智能其它子领域技术的发展，深度学习等技术对图形处理等方面的影响也开始逐渐显现出来。深度学习作为新的工具箱，也许会给VR/AR带来新的发展道路。开源社区作为新技术发展中的重要力量，在未来的发展中也会涌现越来越多的优秀开源软件。

3.5.3 游戏智能

3.5.3.1 概述

随着人工智能技术的发展，AI技术开始越来越多地应用到游戏领域中。DeepMind创建于2010年，致力于研发AI智能体。其所研发的AlphaGo，在复杂的围棋比赛中战胜了世界高手李世石。OpenAI 开源了人

工智能测试环境。Facebook 也宣布了自己的人工智能游戏测试平台 ELF。各大平台相继开源，促进了人工智能在游戏领域的发展。

3.5.3.2 典型开源软件

游戏AI开源软件主要分为开源人工智能程序和为AI研究而搭建的开源游戏平台。

开源人工智能程序的典型代表有Stockfish、RocAlphaGo、Minigo等。Stockfish是国际象棋开源引擎，可以类比于曾经IBM的“深蓝”，是目前世界上最强大的国际象棋AI之一，在AI界的国际象棋顶尖赛事TCEC（Thoresen Chess Engine Competition）中多次取得冠亚军。RocAlphaGo是AlphaGo的复制品，是根据AlphaGo的算法而开发的开源游戏AI软件。AlphaGo是第一个击败人类职业围棋选手、第一个战胜围棋世界冠军的人工智能程序，由DeepMind公司开发。Minigo是AlphaGo Zero的复制品，基于MuGo进行开发。AlphaGo Zero是DeepMind围棋软件AlphaGo的最新版。2017年10月19日，AlphaGo团队在《Nature》上发表文章介绍了AlphaGo Zero，指出此版本不采用人类玩家的棋谱，且比之前的所有版本都要强大。

为AI研究而搭建的开源游戏平台典型代表有DeepMind Lab、Project Malmo、STARCRRAFT II API等。DeepMind Lab是由Google DeepMind于2016年12月5日正式开源的专为AI研究而搭建的第一人称三维（3D）游戏平台，主要用于研究虚拟代理如何在大型、不完全可视、视觉多样化的场景中，在没有预先编程的前提下，完成复杂任务。Project Malmo是由Microsoft推出的游戏MineCraft（我的世界）为环境进行AI研究的平台。MineCraft是一款高度自由的沙盒游戏，玩家在3D环境自由创造和破坏方块以创造建筑和艺术，因此十分适合作为虚拟环境挑战新一代人工智能问题研究，包括测试人工智能算法、指导人工智能程序学习、对话、做出决策等。STARCRRAFT II API是STARCRRAFT II（星际争霸2）开发团队暴雪

公司与DeepMind公司合作推出的人工智能框架，研究人员可以通过其提供的API接入游戏对AI进行研究和训练。此外API中还包含将游戏切割成小块，使AI可以在独立的任务块中进行学习和训练的功能。

3.5.3.3 小结

AI不但在传统竞技领域带给人类无限的冲击（Alpha Go和Alpha Zero多次击败围棋世界冠军）并且已经在电子竞技领域大放异彩（在2017年8月在西雅图举办的Dota2国际邀请赛上由OpenAI推出的AI机器人几乎不费吹灰之力就1VS1击败了Dota2职业选手）。尽管游戏AI带给人们的震撼已经很强烈，但是由于更加先进的游戏引擎的更新，游戏策略的发明，以及团队合作这个不可绕过的竞技精神，游戏AI还有很长的路要走。

3.5.4 信息安全

3.5.4.1 概述

随着互联网、大数据、物联网、云计算等的发展，信息安全形势越来越复杂，依靠以分析安全问题、固定规则设定的传统研究方法不再那么高效，而人工智能与信息安全领域的结合为此提供了新的思路和方法。

早在20世纪80年代，已有将机器学习应用于网络入侵检测的案例，由于受限于当时计算机硬件性能，未能引起广泛关注。在20世纪90年代，Debar等人首次将深度学习应用于网络入侵检测。直到2014年，Grech等人首次将神经网络应用于主机入侵检测，应用深度学习进行网络入侵检测的方式兴起。目前，机器学习等人工智能技术在信息安全领域有广泛的应用，涌现出一些开源软件和数据集，但完全开源的大型、成熟的软件系统较少。从方法、算法和系统设计三个方面系统考虑应用机器学习到部分安全问题的研究工作，主要划分为网络安全、安全服务、软件和应用安全、系统安全、恶意软件、社会工程以及入侵检测系统七个部分^[25]。

3.5.4.2 典型开源软件

信息安全领域典型的人工智能开源软件主要分为三类。一是软件分

析工具，这类开源软件能够分析样本和提取特征，产生用于机器学习模型训练和测试的数据集。Cuckoo Sandbox是著名的开源自动化恶意软件分析系统，即沙箱系统，能够自动地分析可执行文件、Office文档、PDF文件、电子邮件等类型的文件，提取恶意软件的API调用序列、文件操作、内存镜像、网络流量等行为特征；Apktool是开源Android逆向分析工具，用于逆向分析第三方闭源Android软件，能够将Android软件解码为近似于源代码的形式，并在修改后重新打包，被广泛地应用于Android软件逆向分析和特征提取。二是与机器学习模型安全相关的开源软件，人工智能在广泛应用的同时，也不可避免的产生了许多安全问题，此类开源软件的出现就是为了解决这些问题。CleverHans是用于评估和改善机器学习模型安全性的对抗样本生成库，是TensorFlow的子项目，提供标准的对抗样本构造技术和对抗训练的参考实现，并能够在对抗设定上提供标准的模型表现基准。三是典型的人工智能算法在信息安全领域的应用，例如恶意软件检测、网络异常检测等。malware-detection是Microsoft Malware Classification Challenge中的优秀算法实现，通过机器学习算法对恶意软件进行检测，取得了较高的准确率，并在更大规模的数据集上验证了其算法的有效性。Deep-Android-Malware-Detection是亚利桑那州立大学开发的Android恶意软件检测工具，利用卷积神经网络（convolutional neural network, CNN）对Android恶意软件进行分类，运行在GPU上的网络能够快速扫描大量的Android软件。

信息安全领域的开源数据集主要集中在恶意软件数据集和网络流量数据集，通常具备收集周期长、更新频率低、数据集规模小的特点。Microsoft Malware Classification Challenge是Microsoft在2015年提供给Kaggle竞赛的数据集，已成为评估恶意软件检测模型的标准参考之一。该数据集提供了超过20000个恶意软件，被超过50篇学术论文所引用。KDD99数据来源于1998年在MIT林肯实验室开展的入侵检测评估项目，

该数据集包含了9周时间的网络连接和系统审计数据、各种不同的网络流量和攻击手段、仿真各种用户类型，共包含约7000000个网络连接记录，4大类共39种攻击类型。NSL-KDD是加拿大University of New Brunswick对KDD99进行改进后发布的数据集。NSL-KDD在KDD99的基础上去除了重复记录，并对数量、分布等进行了调整，使不同研究工作的结果更加具备一致性和可比性。

3.5.4.3 小结

未来网络攻击只会有增无减，信息安全形式依然严峻。人工智能已成为信息安全领域拓展的新思路与途径，如何将其与信息安全领域更好地融合，关键在于获取高质量数据和各个领域解决问题的专家。由于信息安全产业的封闭性，尽管人工智能技术已经广泛地应用于信息安全领域，但是主要应用形式仍然以集成在安全厂商的产品中为主，大型成熟的信息安全人工智能开源软件尚待发展。

（三）人工智能开源软件特性分析

1 典型人工智能开源软件特性统计与分析

本节统计了各领域典型人工智能开源软件的特性，涵盖了各领域在Github或其他开源社区中最受欢迎的开源软件和各参编单位推荐的本领域内优秀开源软件。本节统计的特性主要包括人工智能开源软件的名称、编程语言、维护者、地域、时间、关注度、开源协议等。对于地域特性，如果该开源软件的维护者在开发和维护时隶属于某企业、机构、组织，则以企业、机构、组织所在国家作为地域特性；如果该开源软件由志愿者开发和维护，则以最主要成员所在国家作为地域特性。对于关注度，以Github上该项目的star数作为衡量指标。详情请见附录A《典型人工智能开源软件特性统计表》。

不同领域的开源软件发展程度不同，而开发者本身最能反应一个领域

的发展状况。因此在对各项特性单独分析前，我们以所统计到的每个领域热门开源软件的贡献者的数量为基础，分析了不同领域的发展规模。开源软件贡献者的数量主要来自对GitHub上数据的统计。

如图12所示，机器学习框架的发展规模最大，参与的开发者最多。自然语言处理和计算机视觉其次。而知识图谱领域的开发者相对其它领域而言处于相对匮乏的状态，发展规模不如其它领域。

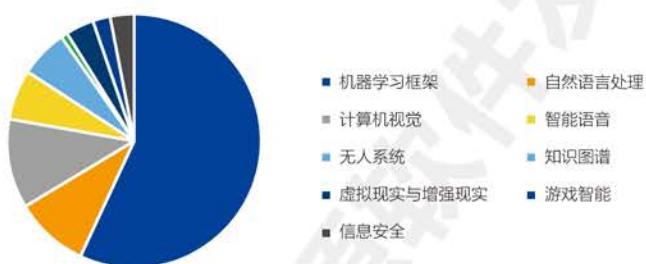


图12 领域规模图

1.1 地域特性

在全球范围内，人工智能技术和人工智能开源软件领先的国家主要有美国、中国和其他发达国家，如图13所示。美国在机器学习框架和大部分应用领域均处于领先地位，拥有数量最多、应用最广的人工智能开源软件。近年来，中国在计算机视觉、智能语音、中文自然语言处理、无人系

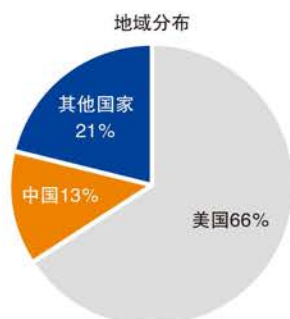


图13 地域分布特性

统等领域的开源软件已在国际上占据了一席之地。机器学习框架和其他应用领域也在快速发展，人工智能技术与人工智能开源软件的发展日益活跃，部分优秀的人工智能开源软件在国际上获得广泛关注和认可。

1.2 维护者特性

随着人工智能技术的发展，大量企业、研究机构、开源组织参与到人工智能开源软件的发展进程中，其分布比例如图14所示。在计算平台和机器学习框架层面，人工智能开源软件与维护者主要为大型企业，例如Google、Facebook、Microsoft、Amazon等外国企业和百度等中国企业，以及开源组织和研究机构，例如Apache软件基金会、UC Berkeley等。此外，国内研究机构、中小企业和个人开发者也广泛参与到各应用领域的的人工智能开源软件发展中。

总体来看，在所有典型的人工智能开源软件中，维护者中企业、研究机构、开源组织/个人几乎各占三分之一，但是在不同应用领域中，不同类型维护者的关注重点有着明显的区别。计算平台和机器学习框架方面，维护者以企业和开源组织为主，研究机构没有足够的资源和动力长期维护

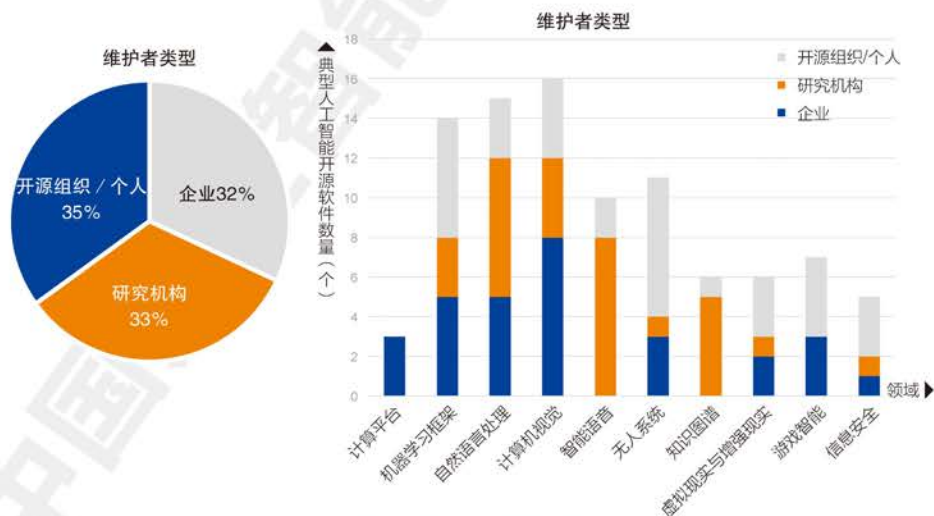


图14 维护者类型特性

开源机器学习框架。在各应用领域中，开发所需要的资源门槛大幅降低，企业、研究机构、开源组织/个人都有参与和贡献。

在企业维护者中，Google最为活跃，贡献了最多的优质人工智能开源软件，并在TensorFlow之上构建了完整的人工智能生态体系，覆盖了自然语言处理、计算机视觉、虚拟现实/增强现实、游戏智能、信息安全等多个应用领域。此外，Facebook、Microsoft、Amazon、Apple、百度等企业也是积极参与者，开发和维护了许多优秀的人工智能开源软件。

在开源组织中，Apache软件基金会是最主要的人工智能开源软件维护者，此外，Mozilla和众多维护特定项目的独立开源组织也是人工智能开源软件的重要参与者。

1.3 时间特性

如图15所示，从时间来看，人工智能开源软件的数量分为三个时期。1997年-2007年，随着人工智能开源软件复苏期的到来，计算机视觉、自然语言处理、智能语言等领域出现了一批优秀的开源软件。2007年以后，Scikit-learn、Mahout、MLlib等开源机器学习框架的发布大幅降低了机器

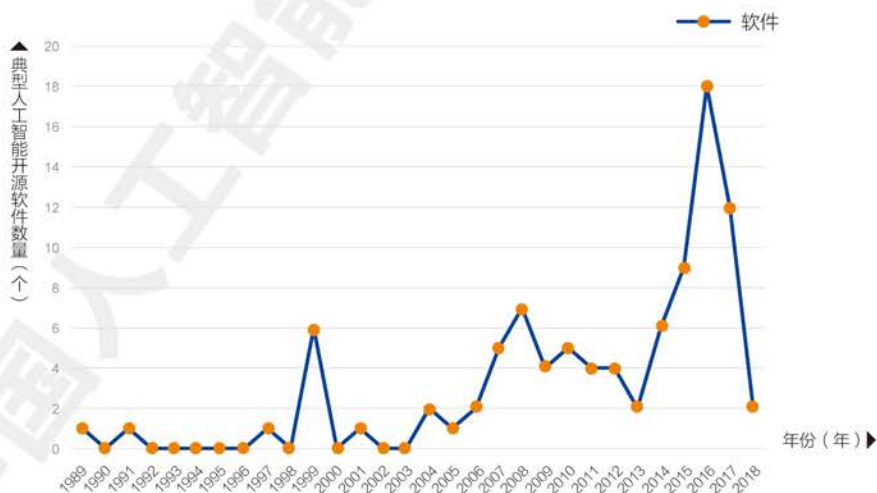


图15 时间特性

学习软件开发的难度，机器学习在各领域的应用更加广泛。近年来，深度学习快速发展，TensorFlow、Caffe等优秀的深度学习框架和各个应用领域的开源软件大量涌现，人工智能开源软件迎来了前所未有的蓬勃发展。

1.4 编程语言特性

在人工智能开源软件中，Python、C/C++和Java是较主流的编程语言。Python具备开发效率高、学习难度低、在数据计算方面功能强大等优势，迅速成为了数据科学家的工具，大部分人工智能开源软件也都提供了Python接口。C/C++在运行速度上的优势使其成为了许多开源机器学习框架的底层开发语言。Java具备历史悠久、功能全面的特点，也成为了部分人工智能开源软件（特别是Apache软件基金会的开源软件）的编程语言。此外，部分人工智能开源软件也支持Lua、Matlab、Scala、C#等编程语言。

1.5 框架特性

在开源机器学习框架中，TensorFlow的用户最多，应用最广泛，大量的人工智能开源软件基于TensorFlow进行开发。基于TensorFlow的开源项目遍布各个应用领域，例如用于图像分类的TensorFlow Slim、用于目标检测的TensorFlow Object detection API等。此外，Keras、Scikit-learn、Caffe、PyTorch、CNTK、MXNet、Theano等也在人工智能开源软件的发展中占据了重要地位。

1.6 关注度特性

GitHub是目前最大的开源项目托管平台，开源项目的star数可以衡量其受关注程度。对从GitHub上获取的各领域主流人工智能开源软件的star数进行统计，统计结果如图16所示。通过对各领域主流人工智能开源软件star数的最大值和中位数的观察，能够发现最受欢迎的是机器学习框架，特别是TensorFlow，获得了近10万个star。在各应用领域中，自然语言处理和计算机视觉的受关注程度相对较高，其中最典型的OpenCV获得了2万余



图16 关注度特性

个star。知识图谱获得的关注度相对较低，最热门的项目也只获得了约1千个star。

2 典型人工智能开放数据集特性统计

开放数据集是人工智能开源软件发展过程中不可或缺的一环，通常由企业和研究机构整理并提供，有助于提升人工智能研究水平，评价人工智能开源软件的质量，改进人工智能开源软件的不足，扩大人工智能开源软件的应用范围，吸引更多用户参与到人工智能开源软件的研究、开发、维护、应用。

本节统计了各领域典型人工智能开放数据集的特性，数据集列表由各参编单位推荐产生，涵盖了各领域最典型、最热门的开放数据集。本节统计的特性主要包括人工智能开放数据集的名称、维护者、地域、时间、数据集规模等特性。由于不同领域、不同类型的数据集差异较大，因此数据集规模的计量单位不尽相同，包括篇（报纸文章数）、条（流量数据

数)、个(文件数)等,仅在同领域同类型的数据集之间具有对比意义。

详情请见附录B《典型人工智能开放数据集特性统计表》。

(四) 基于开源软件的人工智能技术典型解决方案

本节给出了基于开源软件的人工智能技术典型解决方案,如图17所示,主要由四个模块相组合而成,包括计算管理、数据管理、基础机器学习算法和领域构件。其中,计算管理和数据管理是人工智能开源软件技术的基础,基础机器学习算法和领域构件是核心。下文将对这四部分内容进行简单介绍,同时介绍典型的人工智能解决方案搭建形式。

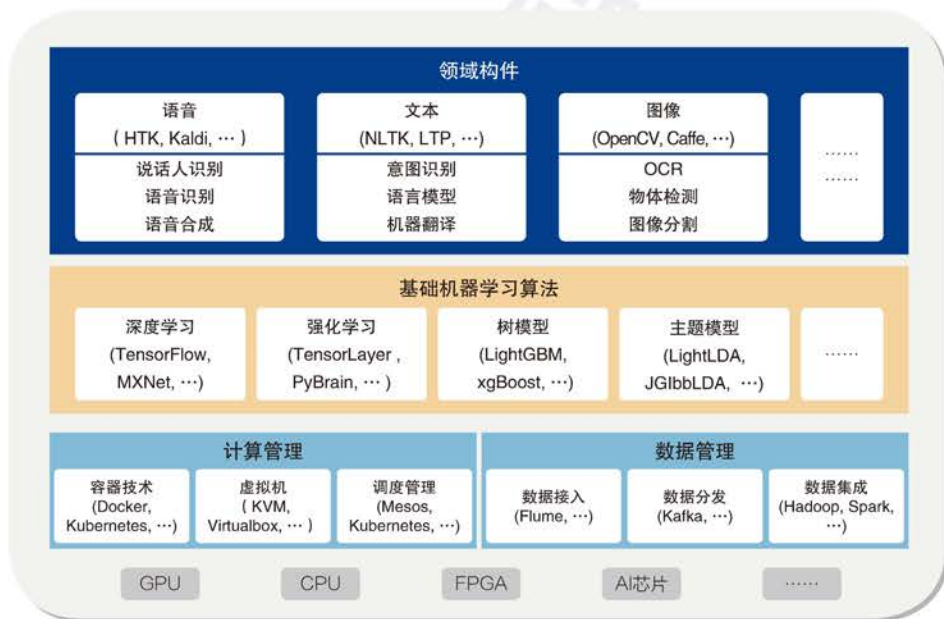


图17 基于开源软件的人工智能典型解决方案

1 数据管理

数据管理是实现人工智能算法模型不可或缺的基础,主要包括数据接

入、分发、集成等关键环节。

1.1 数据接入

数据接入负责从数据源头采集和同步数据，面临的主要挑战包括：一是数据源的多样性，不仅有传统各种各样的关系数据库表、还包括各种的文件型数据、也包括各种业务系统产生的数据；二是同步机制复杂，很多数据源在不断更新，对时效性要求各异。

Flume是一个分布式数据采集、聚合和传输的开源项目，用于开发适配各种数据源，并将采集到的数据发送到分布式消息队列。

1.2 数据分发

数据分发负责为各接入点的数据建立高效的数据总线，将数据正确路由到正确目的地，并建立灵活的消息队列，满足数据处理时效性和准确性要求。

Kafka是一个分布式的发布—订阅消息开源项目，将采集端数据流封装成不同主题，发布到消息总线上，平台侧订阅不同主题的数据流，进行数据计算和存储处理。

1.3 数据集成

数据集成首先要解决的是对各种数据源进行数据对齐、关联合并，然后对数据进行规范统一处理，并保证数据的一致性、完整性。主要的挑战是要处理的对象不仅数据体量大、而且还需要考虑时效性的需求。

AI算法模型设计需要大量标准规范的训练数据，这些数据对时效性不敏感、但需要的计算量很大，因此采用离线批量计算解决方案来完成数据的清洗集成工作，Hadoop MR/Hive、Spark提供更灵活、更友好的交互式数据处理能力，实现更高效的数据处理。

AI算法部署上线后，需要对来自业务系统的数据进行实时推断预测，保证低时延、高流畅性的用户体验。Apache Storm以及Spark Streaming等实时流计算开源项目可用来从业务系统接入流式数据，并对数据进行实时预处

理，处理成特征数据，并将计算结果推入AI算法模型进行实时推断预测。

2 计算管理

如何组织调度计算和数据资源是人工智能计算管理的基本任务。人工智能技术对计算资源的需求量越来越大，客观上需要上灵活的弹性计算能力。随着云计算技术的高速发展，虚拟机、容器成为弹性计算的两种典型基本计算单元，并发展出了越来越高效的资源调度管理技术。

2.1 虚拟机技术

虚拟机技术的基础是将一台计算机硬件资源虚拟为多台逻辑计算单元，每个逻辑计算单元可运行独立的操作系统，可以独立调度管理，实现资源的动态分配、扩容和回收，从而提高硬件资源的利用效率，典型的虚拟机技术包括KVM、Virtualbox、VMware等相关开源项目。

2.2 容器技术

容器技术是一种更轻量级的虚拟化技术，在同一个操作系统空间中，对软硬件资源进行隔离分组成许多独立安全的运行环境，这样容器分配启动、动态扩容的速度更快、消耗的资源更少，有利于提升系统效率，Docker是目前容器技术最主要的开源项目之一。

2.3 调度管理

计算资源调度管理需要实时监控了解资源状态，并根据业务优先级和调度策略，为计算任务动态分配可用的计算集群资源。Kubernetes是一个基于Docker容器虚拟化技术的集群资源调度管理开源工具，支持对已经容器化的计算任务进行细粒度的编排调度，满足应用容器的自动部署、动态扩容等弹性计算需求。

3 基础机器学习算法

人工智能场景中解决问题的核心是算法，这些算法包括并不限于特征

抽取、分类、聚类、动态决策等等。由于算法的核心作用，在开源界会不断的涌现出很多优秀的软件，他们提供各种算法的高效实现，并不断的创新和提高。

基础的机器学习算法包括了常见的聚类，分类，回归。其中比较集中被使用的一系列基础的机器学习方法，包括支持向量机（SVM）、逻辑回归、贝叶斯方法、K-Means聚类、主题模型（Topic Model）、决策树以及决策树的一些集成模型（比如随机森林和梯度提升树）、（深度）神经网络、强化学习工具等。对应于这一系列算法在开源领域都有很多广为人知的开源程序。

4 领域构件

在基础机器学习算法组件蓬勃发展的基础之上，领域构件的发展实现了这些基础机器学习算法从理论走向应用的关键一步。与基础机器学习算法所不同的是，领域构件算法更加侧重于针对某一场景的问题解决，更加侧重于产生算法的实际应用价值。基础机器学习算法组件为领域构件算法提供了强有力的理论创新支持。与此同时，领域构件的发展又会对基础机器学习算法产生一系列的反馈。基础机器学习算法和领域构件的相互促进、共同发展实现了人工智能算法在理论基础到实际应用的完整闭环。

目前，按照数据的表现形式，领域构件通常可以分为图像、语音和文本等多个领域。得益于基础机器学习算法的发展，人工智能在图像、语音、文本等领域均获得了飞速发展，并产生了很多针对特定领域的优秀开源软件。不同于基础机器学习算法开源软件，这些领域构件需要针对应用的相关的任务进行组件化的解决方案，比如多种算法组件的结合形成了机器翻译的领域构建，这些领域构建对应用产业界的发展起到了更为直接的推动作用。

5 建立解决方案

当前的开源领域的基础算法和领域算法发展很快，涌现出来的开源软件很多。开源软件由于其本身的特点，多数情况下是技术驱动的，也就是内容比较组件化和零散化。多数开源软件都是算法组件的形式，而从构建解决方案的角度来说仅有算法是不够的。在构建解决方案的角度往往需要将多个层次的开源环境结合起来。

5.1 离线批量训练模型解决方案

在行业应用中，绝大部分AI模型的训练都是离线进行的，如语音识别、图像识别、文本分类等。这些解决方案的整个流水线涉及数据存储和管理、批量模型训练及模型在线预测三个部分。

图18是离线批量训练模型框架。这部分解决方案的一个特点是模型更新的实时性要求不高，但是模型的训练通常需要处理海量的训练数据。模型训练的效率会直接影响到模型更新迭代的速率，进而直接影响在线预测模块的服务效果。因此，模型训练效率是影响这类AI解决方案的一个关键因素。在实际应用中，模型的训练更新离不开分布式程序的支持，充分利用集群的能力进行高速运算和存储是目前通用的解决方法。典型代表有

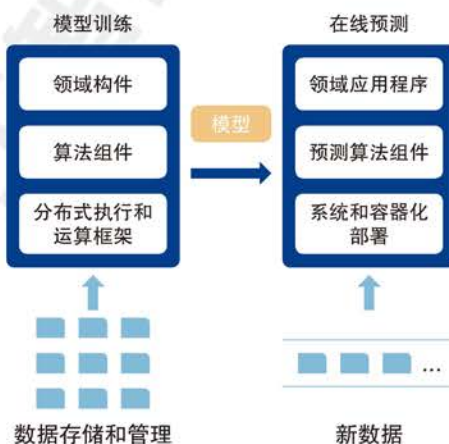


图18 离线批量训练模型框架

Hadoop、MapReduce、参数服务器、数据流框架等面向大规模数据处理的开源并行计算框架。当然训练的时候需要使用到特定的算法组件和领域构件来完成特定解决方案需要的模型。在模型训练完成后，部署的时候同样也需要对应的预测算法组件来完成应用层的调用任务。这些都可以由上述众多的开源算法和领域构件来完成。当然在线上部署的时候需要用到一些容器化系统来保证算法的快速部署和扩容。

5.2 在线实时模型解决方案

另一类的应用解决方案是在很多线上服务中，往往需要跟随用户的反馈快速的调整AI的模型，从而能够不断修正模型应对新的用户需求，比如说在线推荐系统、在线广告系统、搜索引擎系统等等在这样的系统中AI模型不是固定不变的，整个流水线中就包括了线上服务部分（通常利用一些容器和流量均衡控制的系统来支持），线上数据收集和存储的实时数据系统部分，实时模型训练几个部分组成。

如图19所示，实时模型训练的部分通常是基于实时数据流系统来完成（典型的代表比如Flink，Storm），系统会调度机器资源，基于实时的数据完成模型（比如FTRL，或者MAB，或者强化学习模型）更新，当然这些模型训练的代码在很多开源软件中可以找到，最重要的是将这些算法接入到实时计算系统中来，适应平台的数据接口。当模型更新完成后线上服

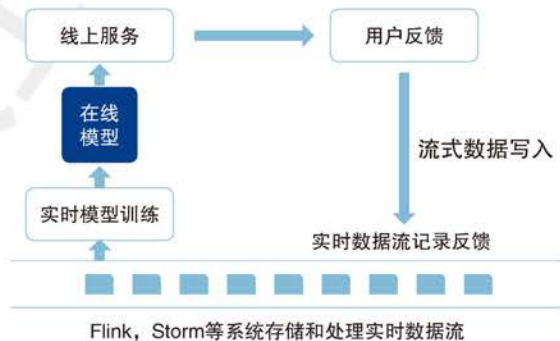


图19 在线实时模型框架

务会用最新的模型进行服务。

这类的系统架构实际也适用于目前比较常见的一些自动控制系统中，这类系统中的AI模型需要根据实时交互过程中系统的反馈修正，修正之后的模型继续测试和服务，始终在一个动态变化的过程中，比如说机器人控制，自动驾驶等等。

三、人工智能开源软件生态分析

(一) 人工智能开源软件生态图总述

人工智能开源软件的发展正在加快人工智能技术创新的步伐，同时也给不同行业 and 不同企业带来全新的发展机遇。人工智能开源软件发展生态与技术本身同样重要。经研究与分析，本白皮书提出人工智能开源软件生态图，如图20所示。其中，人才、安全、标准、社区、技术、知识产权和资金是人工智能开源软件发展的七大关键要素；法律法规、政策、开源文化及公共服务，是人工智能开源软件发展的外部约束；生态图同时关注了人工智能开源软件上下游产业链协同发展及其提供的公共价值和商业价值。

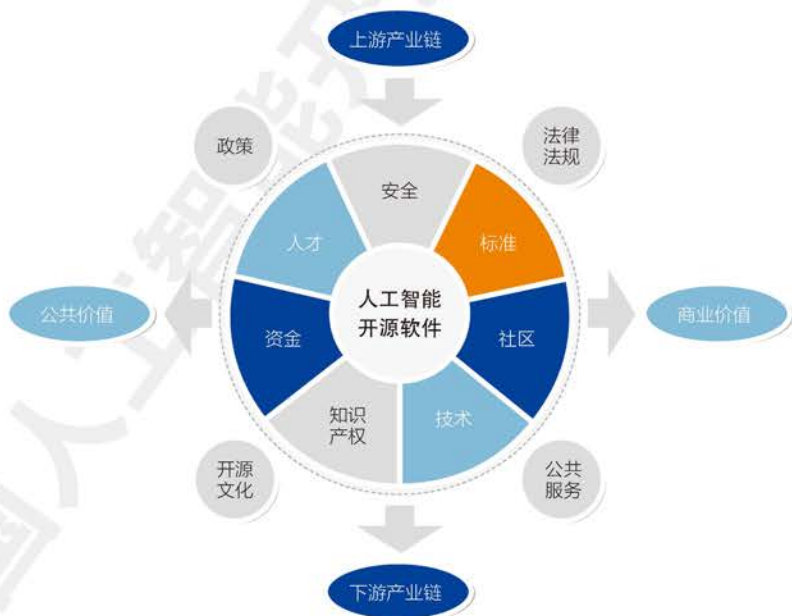


图20 人工智能开源软件发展生态图

（二）人工智能开源软件关键要素分析

1 技术

1.1 人工智能开源软件技术现状和特点

人工智能开源软件的技术具有开放性、实用性、低耦合性和向前兼容性等特点，其技术逐步走向成熟，并发展成为一种技术模式。

软件的开放和实用性。现有的人工智能开源软件已经实现了大多数人工智能的基础算法，对多种编程语言具有良好的支持。

低耦合性。人工智能开源软件的各个功能模块或代码库具有低耦合的特性，可以非常方便的被用户调用。

升级保持向前兼容性。开源项目在不断迭代过程中，每次升级均会保持向前兼容。

1.2 人工智能开源软件技术在发展中的问题

人工智能开源软件应用中的智能化与自动化编码技术的推进。现存的人工智能开源软件已经有了较为丰富的开发库、开放框架和维护工具，但开发的效率依然有待提高。因此推进人工智能开源软件应用中的智能化和自动化的编码是十分必要的。它可以促使人工智能技术更加便捷和广泛的应用，提升编程效率，减少编程错误，降低研发成本。

人工智能开源软件技术发展需要数据的开放。数据是实现人工智能算法模型不可或缺的基础，数据的开放性和丰富性会引导人工智能开源软件的发展方向，推动算法和模型的改进、提升其应用的深度和广度。因此数据开放性是促使人工智能开源软件健康发展的关键动力。

人工智能开源软件技术成熟度需要不断提升。由于人工智能开源软件的研发主体不同而造成技术成熟度参差不齐，难免存在漏洞。但是人工智能开源软件具有高度开放的特征，因此其漏洞有可能被及时发现，开源参与者需要持续改进，人工智能开源软件也需要不断迭代更新，追求更好的

成熟度，才能促进其良性发展。

2 人才

2.1 人工智能开源软件人才的现状和特点

人才是支撑和推动人工智能开源软件发展的关键动力。特别是关于人工智能开源软件人才的从业现状、院校培养、技能培训和能力评价等方面备受关注。

2017年底领英发布的《全球AI领域人才报告》显示，中国人工智能人才高学历者众多，其中研究生及以上学历的人才占比达到62.1%，这意味着中国人工智能开源人才学历高、接受能力强，有较好的潜力。

教育部日前印发了《高等学校人工智能创新行动计划》，提出18项重点任务，其中之一就是加强人才培养力度。优化高校科技创新体系和学科体系，将课程和实训有机结合起来，加强国内和 international 的交流和学习。《高等学校人工智能创新行动计划》还鼓励创新联盟建设和资源开放共享，其中提出“支持高校积极参加人工智能开源开放平台建设”。近年来，我国高校的人工智能实验室正在越来越多的在开源代码托管平台上推出自己的研究成果，形成越来越大的影响力。

专业技能培训，通过开源项目的实践来培养具备人工智能上层应用的开源人才，促进人工智能与其他专业的交叉融合，推动科技成果转化。例如，目前智能制造、智能城市、智能金融、智能司法和国防安全等都是人工智能与其他专业的交叉融合，其人才需求符合社会专业技能培训的特点。

在能力评价方面，主要体现在人工智能开源技术、软件、项目和平台等开源原创成果上，如通过考量受欢迎程度、参与度和新近度来等指标来评估开源项目的质量。

2.2 我国人工智能开源软件人才面临的问题

中国的人工智能开源软件人才仍然存在很大缺口。根据高盛《全球人

《人工智能产业分布》报告统计，全球人工智能人才储备方面，中国只有5%左右。因此，我国亟需培养大量的人工智能的技术人才。此外，虽然人工智能虽然已经形成一套比较完整的知识体系，但从事人工智能领域教学和研究的高等院校人才培养体系依然不完善。

人工智能开源软件的社会专业技能培训体系不健全。培训机构的人文精神、师资力量和数据积累无法跟院校相提并论，培训服务的流程化和套路化与服务所要求的个性化和定制化相背离，用户需求无法得到及时高效的满足。特别是Mybridge AI发布的数据显示来自中国的人工智能开源原创成果屈指可数。人工智能开源软件人才的能力需要进一步提升，在高校培养的基础上，还需要社会专业培训来进一步完善培养体制。

人工智能开源软件人才面临健全激励机制的问题。特别是建立健全外部的激励机制，例如提升优秀人工智能开源软件人才的声誉和影响力，促使人才拥有更好的就业前景。

3 标准

3.1 国内外人工智能标准化现状

目前，国际标准化组织、国外标准化组织和国内标准化组织都在开展人工智能标准化的工作。在国际上，主要有ISO/IEC JTC 1（国际标准化组织和国际电工委员会第一联合技术委员会）、国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）、国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）和国际电信联盟（International Telecommunications Union, ITU）发布了一系列人工智能领域的国际标准。国外也有一些组织发布并正在研制人工智能标准，包括电气和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE），美国国家标准与技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST），欧洲电信标准化协会（European Telecommunications

Standards Institute, ETSI) 等。

我国目前也在开展人工智能标准化研究，全国信息技术标准化技术委员会，全国自动化系统与集成标准化技术委员会，全国音频、视频和多媒体标准化技术委员会，全国信息安全标准化技术委员会，全国智能运输系统标准化技术委员会都发布或正在研制人工智能标准。这些人工智能的标准都为行业和产业提供了指导。

3.2 人工智能开源软件标准化需求简析

人工智能开源软件标准化的使命是促进人工智能开源软件可持续发展，支撑政府、服务产业，推动人工智能和实体经济融合发展。

人工智能开源软件标准化需求来自各相关方，如监管方、服务方、开源软件提供方和用户方等。人工智能开源软件标准化的共同目标是打造与我国经济发展相适应的人工智能开源软件生态体系。

人工智能开源软件标准化应综合梳理和分析不同相关方的关注点，从人工智能开源软件有什么用、如何用和如何赋能行业发展等视角出发，研究并制定相关标准。

4 社区

4.1 国内外人工智能开源社区的现状

开源软件在计算机领域已取得了极大成功。不同地域、不同开发经验的开发者因为兴趣爱好和就业需求等原因自发聚集在一起，通过分享经验、代码调试、提交功能补丁等方式对项目做出贡献，协同完成一个开源软件项目的开发和版本维护。不同领域的开发人员依托各种开源平台，形成了不同的开源社区。

目前，代码托管平台和开发问答平台是人工智能开源社区形成的基础平台。著名的代码托管平台Github有大量人工智能相关的开源软件项目。开源软件平台SourceForge也包括大量的人工智能项目。这些人工智能开源

软件形成了一个包含项目间调用和用户间协作开发的社区形式，为各种人工智能应用提供了坚实的技术支持。开发问答平台Stack Overflow包含了大量的人工智能相关问题，这些问题吸引着大量人工智能从业者进行讨论和分享，提高了各种人工智能应用的开发效率。

国内的人工智能开源社区在规模上和国际的开源社区相比存在差距，但也在快速发展。例如，由开源中国运营的码云也有大量的人工智能相关项目。在知识图谱领域，国内有开放知识图谱（OpenKG）开源项目，整理和维护有关中文知识图谱的数据集、工具和资料，为国内知识图谱研究和应用提供了社区支持。CSDN是国内类似Stack Overflow的开发知识分享平台。

4.2 人工智能开源社区的特点

开源社区从形式上可分为协同开发社区和知识分享社区两类。前者侧重于软件开发中的协同，后者侧重于软件应用细节的知识分享。该分类同样适用于人工智能开源软件社区。协同开发社区记录了软件版本、缺陷报告、提交记录、API调用关系和开发者协同关系等大量的信息。知识分享社区则包含了关于人工智能项目的用户评论和软件问答等大量具体应用细节的信息。此外，协同开发社区和开源知识分享社区不是孤立的，它们之间通过项目名、API和标签等建立联系，从而使得大量用户同时在这两种不同类型社区中互动，共同提升软件的质量，因此这两类社区具有互补性和关联性。

人工智能开源社区具有中心性和社群性两个特点。中心性是指在大量的开源项目中，依据项目间的调用关系构成一个复杂的网络，该网络中有一些少数的项目存在被大量其他项目调用的情况，这些项目就具有明显的中心性。中心的开源项目对整个人工智能开源社区的发展具有直接影响。社群性是指依据项目的描述和项目间的调用关系，不同的项目会聚集为社群，不同项目的社群关注的具体领域不同，同时内部之间存在较紧密的调用关系。

4.3 人工智能开源社区的问题及其分析

人工智能开源社区在快速发展的同时也产生了一些问题，具体包括：协同开发社区和知识分享社区的交互问题、开源社区内部的协作问题、项目质量和贡献者度量问题和开源社区的知识挖掘问题。

两类社区的交互问题

在人工智能开源软件的开发过程中，如何克服全球开发者在语言、文化、时区、习俗方面等差异造成的障碍是一个基础性问题。不同社区内容已经做了很多努力去理解开源分布式协作开发中的沟通，以及开发者协作方式对产品质量的影响等问题。但更需要注意的是系统开发社区和知识分享社区间的交互困难在近年来才得到重视。

开源社区内部协作问题

人工智能开源软件开发与商业软件开发模型存在巨大差别，使得开源开发活动的组织、管理和协同一直是热点议题。如何在吸引大量用户关注并参与开发的同时，提供更好的开发协作机制、提高社区的开发效率和项目软件质量是目前人工智能开源社区的基础问题。

项目质量和贡献者的度量问题

人工智能开源项目需要有效的方法来合理度量开发者贡献。一个开源软件项目的开发者有很多，他们对项目贡献的形式包括技术层面和社交层面。然而，选择何种贡献指标作为判别开发者地位的基准一直是一个问题。

开源社区的知识挖掘问题

开源社区形成的大量数据具有重要的知识挖掘价值。开源社区中的大数据使得人们可以突破传统宏观层次的软件过程，在微观层次上观察和分析不同上下文的开发活动，使得从微观层次度量开发活动模式成为可能。这些挑战和机遇对开源人工智能软件的发展乃至整个信息技术领域的发展都具有重要的理论价值和现实意义。

5 资金

5.1 人工智能开源软件资金投入状况和特点

开源软件从上个世纪90年代开始到现在，其发展基本上经历了三个阶段。

萌芽阶段

这个阶段主要以个人和大学为主体，资金投入相对有限，开源软件主要用于学术研究，无法得到有效的广泛传播，所以大部分是程序员之间以及老师和学生之间的交流。

以非盈利组织为主的阶段

这个阶段主要以非盈利的基金组织为主体，资金投入相对有保障，开源软件更加贴合市场需求，紧跟技术发展趋势，多数能得到广泛的应用推广，例如：Apache 基金会，其维护的 Apache WEB服务器，在互联网上占据了重要地位。

以大型IT企业为主的阶段

这个阶段主要以Google为代表的大型互联网企业为主体，开始以各种方式发布开源软件，最为著名的是Android操作系统和TensorFlow人工智能开源软件。这个阶段多数是具有行业领先地位的企业商业行为驱动，资金投入相对较大，同时商业价值转化能力也相对较强，也更具有市场影响力。

由此可见，开源软件的快速发展和普及，离不开强大的资金支持和成功的商业模式，因此资金要素是决定开源软件快速发展的首要因素，表3是国内外主要人工智能开源软件的资金支持主体。

表3 国内外主要人工智能开源软件的资金支持主体

开源软件	资金支持
MXNet	Amazon
TensorFlow	Google
Gluon	Microsoft+Google
Caffe/ Caffe2	Facebook
PyTorch	Facebook
CNTK	Microsoft
PaddlePaddle	百度
Angle	腾讯

产品培育期的资金投入是前提也是关键。典型产品的资金投入策略是以尽量小的投入获得尽量大的价值回报，这主要是面向产品显性价值而言，而人工智能开源软件产品由于其隐性价值和外延价值很难估量，因此其资金投入策略也没有固定的模式或规律可循。

在我国人工智能开源软件发展初期，资金要素的最主要目标就是促进产业链生态圈的快速构建，其关键活动包括引入资本、整合资源、培育市场、培养人才和打通产业链上下游供需关系等。

5.2 人工智能开源软件在不同发展阶段的资金投入问题

在人工智能开源软件的不同发展阶段会遇到不同的资金投入问题。

培育期产业化资金支持

在培育期，人工智能开源软件往往缺乏足够的资金支持，无法确保前期研发投入和后期示范推广的快速开展。学术机构、科研院所等虽然可以通过科研经费从事人工智能核心技术的研究，但培育产业化资金支持不足。

成长期商业资本引入

在成长期，人工智能开源软件主要关注商业资本和商业模式，目标是打通产业链上下游关系，构筑并融入人工智能产业发展生态圈，大量引入

商业资本投资，创新商业模式，拉动多行业应用需求，推动开源软件产品化和标准化进程，培育人工智能开源软件应用的市场环境，培养人工智能开源软件应用的领军企业和人才，构建产业生态圈，助力产业快速扩大和升级。

成熟期投融资渠道打通

在成熟期，拓展多元化投融资渠道，拓宽人工智能开源软件的应用领域和应用场景，同时，要能够监管资本流动，制定标准规范，约束市场行为，确保产业的健康良性发展。

6 知识产权

6.1 开源软件许可证概述

在计算机发展的初期，软件开发者往往会公开其源代码，并让他人可以免费获得软件。20世纪六七十年代起，计算机软件产业开始快速发展，复制软件简单、快速、成本极低，相比之下，软件开发的成本较高。因此许多立法机构为了鼓励从业者从事软件开发，保障软件产业的发展，通过现有的著作权法来对软件提供保护。20世纪八十年代，美国正式将软件纳入著作权法保护。著作权法逐渐成为了目前全世界保护软件的重要法律平台。¹在著作权法的框架下，计算机软件的源代码和目标代码视为同一作品，作者拥有对自己的软件作品的排他性权利，可以禁止他人复制、发行、修改自己的软件作品，以及禁止他人复制、发行基于该软件创作的演绎作品。

面对著作权的扩张，并基于对Unix等项目由开放源代码转为封闭源代码的不满，20世纪80年代，以理查德·斯托曼（Richard Stallman）为代表的一批软件开发者开启了开放源代码运动，以一种新的方式来行使著作

¹张吉豫. 探寻知识产权的边界——以信息技术平台兼容性为视角 [M]. 法律出版社 2017 年版.

权，给予免费复制、传播或向公众发行的权利，并且要求许可方提供程序的源代码，以丰富和发展开源社区。理查德·斯托曼创设了自由软件基金会，提出了四项基本自由²，并指出放弃软件著作权并不必然保障该软件及其后续版本能够维持“自由”的状态，因而设计了凭借著作权制度来保障这些自由的“著佐权（Copyleft）”规则，在声明软件是受到著作权保护的前提下，在发布软件及其源代码时加上著作权许可条款，授权任何人复制、修改和重新发布程序的代码及其演绎作品，只要其同意许可条款，以相同的许可条件许可其演绎作品。

“自由软件”强调使用者的自由，因而对于软件使用和后续开发者的约束比较严格。1998年，一部分软件开发者成立了开源倡议组织（Open Source Initiative, OSI），以发展其认为更利于服务商业战略的开源软件许可规则。开源倡议组织在其对开源软件的定义中明确说明，一项软件如果仅仅是公开源代码还不足以构成“开源软件”，其许可条款还需要满足十项准则（“开源软件十诫”），包括必须允许免费分发该软件，必须允许他人修改源代码和创作演绎作品并允许其按照与原始软件的许可证相同的条款进行分发，许可条款不得歧视任何人或群体等。

截止至2018年4月，通过开源倡议组织认证的开放源代码软件许可证已有83种，包括最为广泛的GNU通用公共许可证（GNU General Public License, GPL）、BSD许可证（Berkley Software Distribution License）、Mozilla公共许可证（Mozilla Public License, MPL）、Apache许可证等。由于软件提供者发行软件的目标不同，其对被许可者的授权条件亦不同，因此这些许可证在是否允许不公开修改后的源代码、是否只允许按本许可证来发布源代码、对专利授权的要求等方面存在一定的差异。

² “自由软件”的四项基本自由即：不论目的为何，有使用该软件的自由；有研究该软件如何运作的自由，并且得以修改该软件来符合使用者自身的需求；有重新发布该软件的自由；有改善再利用该软件的自由，并且可以发表修改版供公众使用，如此一来，整个社群都可以受惠。

6.2 使用开源软件的主要知识产权风险问题

尽管有开源软件许可证的约束，但使用开源软件仍可能存在一定知识产权风险。主要包括如下几个方面：

著作权

尽管开源软件在许可证中通常允许他人使用、修改、再分发软件代码，但这并不意味着开源软件能够保证其代码均是开发者独立开发的。一些开发者可能将他人拥有著作权的代码未经许可加入到开源软件中，这样就产生了著作权瑕疵。在这种情况下，其他人对该开源软件的复制、修改和再分发就可能侵犯著作权。这一问题在普通非开源商业软件中仍可能存在。风险大小实际与开发管理流程及代码审核相关。一旦发现有涉及侵犯他人著作权的代码存在，除对之前的使用承担相应责任外，对于后续的使用，开源软件开发者可以尝试获得许可或者重新编写不侵犯他人著作权的实现同样功能的代码。

如果违反许可证约定使用开源软件，则可能涉及违约和侵犯著作权，需承担相应的责任。美国、德国等国均有一些相关司法实践。尽管在开源运动早期美国曾对GPL等许可证的法律效力有所争议，但随着发展，在美国已有一些相关判决³表明，涉案开源许可证中的主要条款是著作权许可的条件，违反该条款属于重大违约，著作权人有权解除合同，即可以取消对被许可人复制、修改、发行该软件代码等权利的许可。德国司法实践也持类似观点。

在选择或阅读开源软件许可证时，可着重考虑下列要素：

- 1) 许可证覆盖的代码范围；
- 2) 是否可以不公开对源代码的修改；

³ 例如，在雅各布森诉卡策尔案中，被告使用了原告的开源软件，但没有遵循原告软件使用的“艺术许可证”中的条款。地方法院判决被告仅构成违约，没有侵犯著作权的责任；联邦巡回上诉法院见 *Jacobsen v. Katzer*, U.S. Court of Appeals for the Federal Circuit, 535 F.3d 1373 (Fed. Cir. 2008).

3) 如果新增加的源代码必须开源，是否必须采用同样的许可证，以及是否需要源代码的修改之处提供说明文档。

专利权

涉及计算机程序的发明在大多数国家专利法中都可能成为专利权的对象，只是具体判断标准具有差异。在我国，专利权人拥有禁止他人为生产经营目的制造、使用、许诺销售、销售或进口其专利产品，或者使用其专利方法等的权利。在使用开源软件的过程中同样存在侵犯专利的风险。与软件著作权不同，即使是开发者独立撰写的软件，也可能侵犯不受开源软件许可证约束的他人拥有的专利权。

开源软件开发者自身可能拥有一些专利。一些许可证没有在许可条款中约定专利问题，另一些许可证则进行了若干约定。例如，GPLv3许可证中要求软件的“贡献者”授予软件使用者对于其“必要专利权利要求”的非独家的、全世界范围的、免费的制造、使用、销售、许诺销售、进口以及运行、修改和传播其贡献者版本内容的权利。

在选择或阅读开源软件许可证时，可着重从下列要素进行专利权方面的考虑：

- 1) 是否约定对开源软件进行专利授权；
- 2) 是否约定不得提供被专利保护的源代码（除非其本人是专利权人，并书面向公众免费许可这些源代码）；
- 3) 是否约定专利侵权诉讼相关后果。

商标权

当前许多开源组织及从事开源软件开发的企业都申请了商标。特别是开源软件开发企业开始结合自身经营特点和商标战略发展商业模式。开源软件使用过程中使用商标特别需要注意两方面内容：

- 1) 如果没有经过开源倡议组织（OSI）的认证，不得使用其商标；
- 2) 如果希望在产品上使用他人拥有的开源软件的相应商标，需要查

看许可证中是否有明确的商标许可。

7 安全

7.1 人工智能开源软件的安全现状和特点

人工智能开源软件与其它开源软件相似，具有开放、共享和自由等特性，已成为软件供应链中不可或缺的重要组成部分，特别是人工智能开源软件的纵深推广，如大数据、云计算和神经网络等应用平台和通用工具，更加得到用户的青睐和广泛应用。

人工智能开源软件与其它软件一样，难免存在安全漏洞隐患，但相比封闭的源代码，它可以通过代码控制系统来管理代码树，通过许多人在不断地检查和分析代码，即使是很小的错误也可以被发现，并迅速的改进代码堵住漏洞，同时通过开源社区等形式及时公布改进措施，提高了系统的整体安全性。然而，人工智能开源软件也并非完美，它的安全性依然存在改进的空间。

7.2 人工智能开源软件有待改进的安全问题

新旧版本的更替所带来的安全隐患亟需降低。开源软件允许用户对源代码进行二次开发应用，这是开源软件的一大优势。但用户的自行修改需要跟随着原软件设计者的升级而反复进行，并承受着旧版本存在的安全性威胁。新旧版本的更替不可避免地给用户带来了修改工作量，甚至不得不放弃一定的自我功能需求。

开源软件的有序应用需要重视。在软件开发过程中，一些程序员可能随意选择不同的开源软件和版本，这导致研发出的应用存在本来可以避免的漏洞风险。这甚至使得具有最通用的高风险组件出现在多个行业，导致安全威胁广泛传播，这些都给开源软件的安全有序应用带来了极大的挑战。

（三）人工智能开源软件外部约束分析

1 法律

1.1 人工智能开源软件法律法规约束现状

人工智能开源软件受到法律法规约束主要集中在三个方面，包括智能采集数据、主观歧视和产品功能的潜在风险。在使用人工智能开源软件进行智能数据采集方面，现有法律法规诸如《网络安全法》、《侵权责任法》、《最高人民法院、最高人民检察院关于办理侵犯公民个人信息刑事案件适用法律若干问题的解释》等对此进行了制约。使用人工智能开源软件研发的产品应用如果存在功能潜在风险虽尚无专门的法律法规约束，但可以借用《消费者权益保护法》、《产品质量法》等其它法律约束，并且国内外法律机构也在针对人工智能产品开展专门的立法。如果人工智能的歧视行为给使用者造成了精神或实际损害，相关法律责任应当能够明确责任主体，应给予相应的惩罚。

1.2 基于人工智能开源软件的应用涉及的法律问题

人工智能在各行各业广泛应用的同时，也面临着法律保护与法律纠纷的问题，主要体现在以下几个方面：

一是数据入口存在采集和使用的法律制约必要性。目前从技术上来讲，人工智能基本都涉及到机器学习技术，需要收集、分析和使用大量的数据。这些数据的来源各有不同，其中可能涉及到包括个人信息和商业数据在内的关键信息，这涉及个人信息保护、不正当竞争和商业秘密保护等法律问题。

二是算法存在主观歧视潜在风险。人工智能算法在预测未来方面发挥着重要的作用，也在网络空间中决定着个性化推荐内容。有些学者认为算法本质上是一种客观的数学表达，不受情绪、偏见及外部因素影响，但目

前这种观点备受质疑。智能算法本质上是“以数学形式或计算机代码表达的意见”，因此算法与其开发者、设计者本身的价值观、思维方式以及可能存在的偏见、歧视都有关联。

三是智能产品存在潜在的功能安全性法律风险。当人工智能产品出现产品与事故责任问题时，很难断定是人工智能算法的缺陷还是人为操作不当的责任。例如在特斯拉事件中，就目前事故调查结果来看，驾驶员及汽车生产商都没有过错，但需要有人对事故的发生负责，这种情况下各方责任界定成为难题。现阶段部分国家和地区已经开始尝试立法，国际社会也就此展开了积极探讨。我国在道路交通管理方面也在积极探索，为自动驾驶、无人车的发展提供约束与保障。

2 政策

2.1 支持人工智能开源软件发展的国内外政策

国内外发布了多个人工智能开源软件的引导和支持政策。国务院在2017年提出《新一代人工智能发展规划》的基本原则中明确支持开源开放的理念。工信部在《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018-2020年）》中提出支持开源开发平台、开放技术网络和开源社区建设等。2017年10月，北京中关村国家自主创新示范区发布《中关村国家自主创新示范区人工智能产业培育行动计划（2017-2020）》的通知中提出建成符合人工智能技术研发和产业化要求的开源开放式创新平台、搭建开源开放共性技术平台。2017年12月，浙江省人民政府印发《浙江省新一代人工智能发展规划的通知》，在主要任务中提出重点突破核心基础理论和技术瓶颈，支持人工智能开源架构等技术成体系发展。

国外发达国家也发布了一系列支持人工智能技术研究的政策。这些政策涵盖了人工智能基础技术的研发，开源软件作为基础技术之一也将成为重点的研究对象。在2018~2020年期间，欧盟委员会将逐步开展“地平

线2020”的研究和创新计划。在该计划中将涉及人工智能基础技术研究、教育和培训、市场应用等多项研究的政策支持。美国国家科学技术委员会（NSTC）发布了《国家人工智能研究与发展战略计划》，明确提出了对人工智能研究进行长期投资的战略。

2.2 国内外政策的特点

支持我国人工智能开源软件发展的国内政策呈现两样性特点。首先，有些国内政策明确指出了应该发展人工智能开源软件、架构和平台等具体内容。特别是一些地方政策结合了当地的特点提出了针对某领域、行业的具体发展需求。其次，有些国内政策没有明确提及支持人工智能开源软件的内容，但是政策中大多提出发展人工智能基础技术、关键技术的研究，也间接的支持了人工智能开源软件的发展。

国外发达国家，特别是美国和欧洲各国发布的支持人工智能技术发展的政策中都没有明确提及人工智能开源软件的内容，但是这些政策中都明确指出人工智能基础技术的研究和长期研究是十分必要的。这也间接的支持了人工智能开源软件的发展。此外，从美欧国家的政策指导中可以看出，美欧的人工智能开源软件发展已经相对成熟并拥有很高的占有率。

2.3 我国人工智能开源软件的政策问题

我国缺乏专门支持人工智能开源软件发展的政策。尽管我国的人工智能开源软件在某些领域有所突破，但仍处于起步阶段。虽然一些政策中提及了开源的内容，但目前依然缺乏专门的政策支持。

我国地方基层政府缺乏支持人工智能开源软件发展的实施细则。虽然一些地方政府发布了多项支持人工智能开源软件技术的政策，这起到了积极的推动作用。但是落实这些政策的实施细则却较少提出。这不仅不利于政策的落实，而且会直接影响这些政策在支持人工智能开源软件发展中的积极作用。

3 开源文化

3.1 国内外开源文化的现状和特点

人工智能开源软件与其它开源软件具有共性的开源文化，通常指的是将代码开放的软件行业共识。开源并不仅仅意味着代码的公开，更深层次的含义是自由、共享、资源的充分利用和人人参与的精神。整个人工智能领域绝大多数应用都建立在开源软件的基础上。

自由成为开源文化的首要特点。自由在开源软件中意味着可以下载、修改和发布开源软件。自由免费促进了开源软件的快速传播，例如很多开源软件的初始版本都是很简单的，因为每个人可以自由的使用、修改和提交代码使得软件的质量越来越高，软件的功能也越来越丰富。

分享成为开源文化的核心精神。发达国家的开源软件都相对比较发达，工程师分享的开源项目影响越广泛，被很多人使用和传播，作者个人成就感越会得到满足。这也是Linux的创始人 20几年来一直维护着Linux的原因。

开放决策成为开源文化的重要基石。开源文化不仅取决于使用编程语言的类型和具体的工程项目，更取决于项目发起者和开源社区的参与者。开源文化最重要的是开放式的决策机制。这种机制可以很好的解决争议问题，并且优先解决重要问题。开源项目的良好发展既需要资深程序员的开源，也需要新加入的程序员的开源，这就使得开源项目得到广泛的参与，并且不断地会有越来越多的程序员加入并参与讨论，促进开源项目的发展。

开源社区成为开源文化的重要载体。开源社区可以很好的带动开源文化的发展，开源社区相比专注于技术细节、获取知识和提高能力而言，更注重的是培育开源文化。开源文化的培育非常重要，开源文化会促进人人向社区共享而不是一味的索取。社区的成熟和发展是开源软件走向成熟的标志，最开始的开源软件社区强调的是代码托管和下载，后来GitHub出

现，它强调的是社交。GitHub将开源软件的中心放到了人与人之间的社交而不是代码上，每一个代码的使用者都可以给项目做出不同贡献，例如提问题、反馈bug、开发特性和提建议等，同时在这个过程中也可以获得成就感。

人人参与成为开源文化的推广手段。开源文化强调的是人人参与，任何人都可以参与其中，降低参与的难度系数，吸引更多的人参与，使得贡献者贡献自己更多的力量。开源文化不应该设有较高的门槛，这样会使得技术精英化，会产生无形的壁垒，不利于开源文化和技术的推广，会使得志愿者越来越难参与到开源中来，进而使得大量开发者和共享者流失，使得开源文化的发展产生倒退现象。

3.2 我国开源文化的问题

我国缺乏独具特色的开源文化。在世界信息技术发达的国家，都拥有其自身优秀的开源文化，它是支撑所有开源技术的动力。我国开源软件发展起步较晚，在研发开源软件特别是人工智能开源软件时，虽然充分发扬了包括自由、分享、开放决策和人人参与等已有的欧美等发达国家的开源文化，但依然没有得到普及和大众认可。我国人工智能的开源文化应更多的融入能够加速人工智能开源软件技术发展的精神，从而在我国特色人工智能开源软件文化的支撑下更为快速的发展。

4 公共服务

4.1 公共服务意义

为人工智能开源软件提供的公共服务是指通过政府介入或公共资源投入为个人或组织及企业从事人工智能开源软件相关工作所提供的各种服务，如科技推广、咨询服务以及公共交流等，并且具有三个重要的意义。

一是促进科技推广及成果转化。通过科研技术服务和产业技术服务，搭建人工智能开源软件开发和应用的桥梁，将具有创新性的人工智能开源

软件技术成果从高校、科研单位等转移到生产部门，使人工智能开源软件得到广泛的行业应用。

二是引导和规范人工智能开源软件的应用。通过基于人工智能开源软件的算法评估等，提升人工智能产品和服务的质量；通过基于人工智能开源开放共享技术架构的评测及咨询服务，有效支撑人工智能创业创新活动等。

三是促进人工智能开源软件产业生态的构建。通过搭建信息共享公共服务平台，分享政策解读、国内外人工智能发展动态、人工智能开源软件应用典型案例、专家资源、高校院所信息、技术成果和企业需求等人工智能产业信息，为人工智能开源软件发展创造良好的发展氛围，打造“产学研用”公共交流服务平台，促进人工智能开源软件生态的构建。

4.2 公共服务存在的问题

当前，业界对人工智能开源软件的理解，包括企业运用人工智能开源软件进行二次开发或进行行业应用推广的能力、水平和发展路径不清晰，缺乏公共服务平台提供指导实施的系统方法论，或可供参考的经验和做法案例。同时，行业主管部门也缺少公共服务平台作为推动和监管人工智能开源软件的发展的抓手。

（四）人工智能开源软件价值分析

1 开源软件的公共价值

开源已成为信息技术创新的主流模式，它依靠多元力量和汇集群体智慧，不断引领全球新兴信息技术的创新。随着开源软件在更大范围和更多应用场景的渗透和应用，它在更高层面上对各类人群、组织、行业和社会产生潜移默化的影响。开源软件的社会价值和公共价值如图21所示，主要体现在以下几个方面：

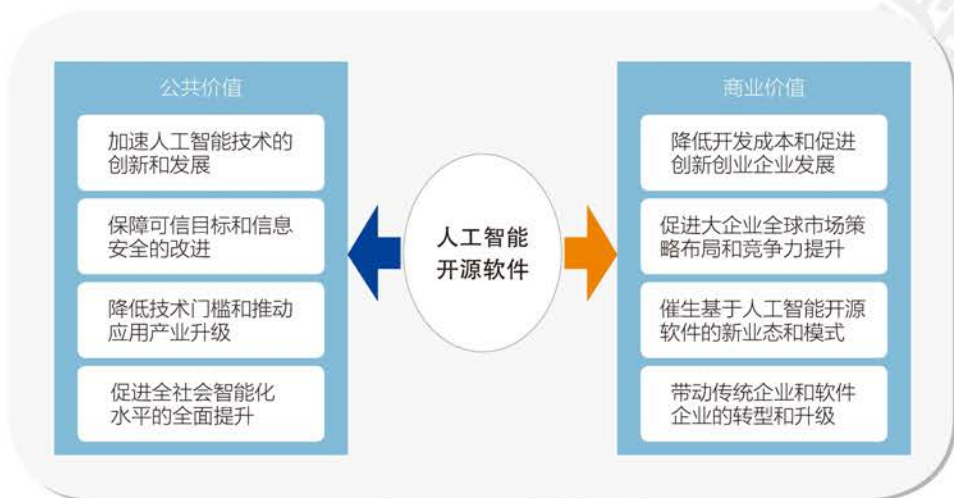


图21 人工智能开源软件价值分析

加速人工智能技术的创新和发展

人工智能开源软件社区已形成汇聚了全球技术、资金、人才和影响力等多元资源的产业生态，真正体现了大数据的价值，并持续带动数据、算法、算力和领域知识的深度融合，使得人工智能技术不断迭代成长和创新。

保障可信目标和信息安全的改进

开源软件开发过程和成果的透明化，让前期的规划设计以及后期的验证确认有了更明确的对象，安全可信目标能够得到更好的保障，这为国家、行业、组织乃至个人的信息安全现状提供了极大的改进机会和空间。

降低技术门槛和推动应用产业升级

人工智能开源软件的低门槛特点促进了以其为载体的领域知识和技能的转移，实现了社会各方需求和资源的快速汇集，并以其人才、思想、算法和示范应用不断扩大应用领域，推动了涉及的产业向智能化方向的升级转型。

促进全社会智能化水平的全面提升

智能化应用不断融入社会基础设施和社会生活各方面，它不仅辅助人类的工作，也改变人类的认知模式，对社会经济和发展起到推动作用。

2 开源软件的商业价值

开源软件是一种新兴的商业模式，与商业利益并不冲突。商业利益仍然是驱动开源软件发展的基本保证。开源软件领域各类组织通过实践已经总结出多种盈利模式，较有代表性的有：双授权模式、嵌入商业软件模式、衍生品模式、延伸服务模式、应用服务提供模式、硬件捆绑模式、市场与品牌战略等。概括而言，开源软件基础上的商业模式，其核心是服务模式发展和创新——即通过附加服务或增值服务来获得商业回报，以支持开源软件健康发展。从商业的角度，开源软件的主要商业价值包括有：

降低开发成本和促进创新创业企业发展

人工智能开源软件可有效降低技术应用的门槛，扩大技术应用的范围和广度，这使得广大人工智能创新创业企业能够为不同客户提供丰富的产品和服务，在帮助用户提升效率和获得成长的同时，实现自身发展。

促进大企业全球市场战略布局和竞争力提升

开源策略作为大型企业的战略工具，能够帮助企业参与到新的全球化的协作网络和外部生态中，更有效地获得信息、技术和人才等生产资源，同时帮助企业在战略层面更好地确立自己的合作与竞争策略，以此形成自己的业务生态，更好促进自身产品和服务的创新发展，从而更好支撑企业愿景的实现。

催生基于人工智能开源软件的新业态和模式

人工智能开源软件通过其生态和向其他领域的应用拓展，不断影响和改变服务提供方与需求方和最终用户的联系方式、服务方式和盈利方式，并潜移默化影响着包括软件组织在内及其所应用的领域的分工协作模式，

极大地促进了基于人工智能开源软件的新型组织、新型业态和新型商业模式的孵化与发展。

带动传统企业和软件企业的转型和升级

人工智能开源软件为各行各业提供了智能工具和智能基础设施的支持，并在不同领域不断引入和应用，实现了跨领域的知识和技术的不断优化融合，在帮助各行业企业丰富产品和服务的智能化附加值、提升客户体验的同时，使得这类企业获得更大竞争优势，从而对商业投资和人才等竞争关键要素形成更强引力，带动传统行业和软件企业的转型和智能升级。

（五）人工智能开源软件产业链分析

产业链通常包含价值链、企业链、供需链和空间链四个维度，这四个维度在相互对接的均衡过程中形成了产业链，产业链中通常又分为上游产业和下游产业，上游产业是整个产业链的开始端，提供重要资源和原材料和零部件的行业，下游产业处在整个产业链的末端，加工原材料和零部件，制造成品和从事生产，服务的行业。上游与下游是现代化生产产业链中的相对概念，在上下游的生态中有很多的相关方，他们依存和发展，相互作用，密不可分。

人工智能开源软件的上下游生态中存在着很多相关方。随着人工智能开源软件技术的演进和政府部门的政策推动，越来越多的机构和个人开始重视并参与到人工智能开源技术和生态的探索中来。从各种类型人工智能开源软件个人爱好者到大型互联网公司、创业公司、金融机构、及政府监管部门，人工智能开源软件的相关方的生态也在逐渐得到的发展与丰富。总的来看，开源生态支持参与开源事业的各相关方将由各类企业、高校、科研机构、产业联盟、标准化组、政府和监督管理部门等构成，形成汇集国内外优秀开源资源，具备开源资源的整合、利用和成果产业化的能力，

顺应、放大和影响综合产业环境。人工智能开源软件的主要相关方如图22所示。



图22 人工智能开源软件相关方视图

监管方：主要由行业主管部门和监督管理部门构成。行业主管部门的主要职责是研究拟定国家信息产业发展战略、方针政策和总体规划；拟定法律、法规，发布行政规章；组织制订人工智能产业与技术发展政策、技术体制和技术标准等，推动产业发展。监督管理部门依据政策、法规和行业规范，对人工智能开源软件产业的参与者及其业务行为实施指导、监督和检查职能。

服务方：主要由联盟、评测机构、知识产权管理机构和审计机构构成。它们受相关主管部门委托或由产业参与者自发组织，实施或参与实施联盟和社区建设、组织和资产资格认定、知识产权认定和保护、订立行业行规行约、协作推动和行业约束、审计检查等职能，提高行业自律性；协助政府部门组织制定、修改本行业的国家标准、专业标准及本行业的推荐

性标准等；作为企业代表与政府进行信息的沟通与协调，向有关部门提出产业发展意见。

用户方：主要包括基于人工智能开源软件进行二次开发的组织和个人，以及使用人工智能开源软件的行业用户。他们获得的目的是用于提升自身能力、改善服务体验、扩展产品和服务，也可能用于为他人提供增值服务。

提供方：主要包括开源代码贡献者、版本维护者、开源软件运营者。提供人工智能开源软件相关算法、框架、软件组件的基础技术的信息、产品及相关知识服务。它们将人工智能理论、模型和应用领域的知识转化成可运算和可组合的知识成果。

基础供应商：主要是为开源软件的开发及运营提供基础环境的软硬件产品、集成或服务的供应商。提供人工智能领域的芯片、传感器、操作系统、存储系统、高端服务器、关键网络设备、网络安全技术设备、中间件等基础应用软硬件产品、系统集成或相关运维服务。

四、中国人工智能开源软件发展建议

(一) 发展路径

根据国外人工智能开源软件的发展趋势，结合我国的实际状况，建议通过以下三个阶段逐步发展我国自主人工智能开源软件：



图23 我国人工智能开源软件发展路径

第一阶段：直接采用，部分参与

在起步阶段，主要集中于对现有的人工智能开源软件进行直接的应用和学习，并在可行的范围内，参与开源软件的开发和创新，初步积累技术实力。主要分为以下方面：

(1) 合理使用现有主流人工智能开源软件。在已有的人工智能开源软件和开源社区的基础上，进行进一步的应用和开发。在直接采用开源软件的同时，剖析各人工智能开源软件的架构、技术和优劣，加深理解消化、加强技术积累，达到充分了解、充分利用的目标。

(2) 积极参与人工智能开源项目并贡献力量。企业和个人跟随和部

分参与现有开源项目，参与开源软件开发和运营，积极贡献力量，融入人工智能开源社区并逐步产生影响，提高我国人工智能开源软件技术水平，培养一批具有社区影响力的开源软件技术人才。

第二阶段：重点突破，局部主导

通过第一阶段的直接采用和参与开发，在现有技术积累的基础上，在重点技术领域取得突破性进展，谋求局部主导人工智能开源软件的开发，具体可以从以下方面开展：

(1) 自主研发人工智能开源软件局部功能和模块。在充分借鉴国外人工智能开源软件的基础上，从数据预处理、人机交互、数据可视化等局部功能或模块入手，层层深入剖析和研究，大力推动科研团队对人工智能的各个元模块和基本功能逐层深入研究和二次开发，加强智能产业的技术积累能力，实现技术沉淀和人才储备。

(2) 主导优势领域人工智能开源应用软件的研发。在中文信息处理、语音识别、知识图谱等优势领域，加快本土自主创新，鼓励创新人才和创新成果，充分发挥本国企业对本土市场熟悉度高、变化反应快的优势，综合利用现有的开源代码，推出符合用户需要的、创新的开源软件产品和服务。

第三阶段：自主引领，广泛应用

在第三阶段，形成领先的人工智能开源软件自主研发能力、积累优势技术、构建成熟的评测技术体系，引领开源软件的发展，促进人工智能技术在各个领域的广泛应用。主要涵盖以下两点：

(1) 构建成熟的人工智能开源软件评测技术体系。在现有软件评测技术的基础上，对人工智能开源软件的程序、数据、文档、社区、生态进行全面完整的评估和测试，将评测技术成熟化，形成引领行业的自主评测技术体系和标准，保障开源软件的正确性、完整性、安全性和可用性，发

挥评测体系的评估指导作用，减少开源软件中存在的风险和威胁，提升开源软件的性能和质量。

（2）促进自主研发人工智能开源软件广泛应用。引领人工智能开源软件领域的发展，形成从核心框架到上层应用的自主研发体系，占领技术高点，建设领先的人才队伍，构建开源软件开发和应用的良好生态，推动人工智能开源软件在生产、教育、医疗、环保、社会治理等领域的广泛应用，为我国经济建设和社会发展助力。

目前，我国人工智能开源软件的发展正处于第一阶段向第二阶段过渡时期。由最初直接使用现有主流人工智能开源软件到局部参与开发再到如今在国家政策的积极引导和号召下，国内众多大型IT企业凭借自身优势，逐渐主导开发开源软件。

（二）发展模型

根据以上三阶段分析我国人工智能开源软件的发展状况，结合本白皮书前几章对人工智能开源软件的特性分析、技术分析和生态分析，构建符合我国国情的人工智能开源软件发展三维模型，如图24所示。具体内容如下：

（1）构建开源生态。加快人工智能开源生态发展，应着力营造良好开源生态。重点攻关计算机视觉、机器学习、自然语言处理、机器人和语音识别等人工智能核心技术；建议遵循开源开放原则，联合建设国家主导的开源社区；加强技术人才队伍的建设，鼓励创新型人才和成果；促进开源标准的制定和完善，形成人工智能核心生态圈；进一步加强和完善知识产权系统，构建良好开源生态；建立资金支持机制，尽快建立以算法框架研发为核心的人工智能科技创新体系；加强对人工智能开源软件的安全审查，建立健全安全监管评估体系，提升安全防护。

（2）营造外部环境。促进人工智能开源技术创新，应当进一步提高

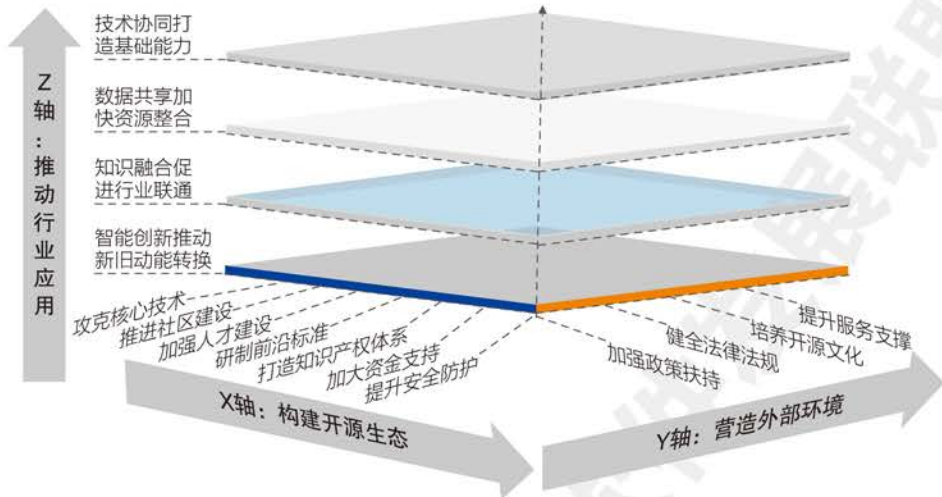


图24 我国人工智能开源软件发展模型

对开源文化的认识，明晰开源软件产业发展的政策和方向。积极发挥政府宏观调控和顶层规划等政策环境引导作用，持续推动人工智能开源生态持续健康发展；健全知识产权法律法规，对开源软件许可证协议进行司法界定；大力弘扬开源精神，切实营造“共享、开源、发展”的开源文化氛围；推进人工智能开源产业的咨询和服务制度的发展，提供对违反许可证协议具体行为的解释说明。

（3）推动行业应用。构建开放协同的人工智能科技创新体系，推动人工智能在经济、社会及基础设施建设等领域的广泛应用，需从技术协同、数据共享、知识融合、智能创新四个层次逐层递进，促进新旧动能转换。打通、协同传统行业技术和新兴技术，不断形成相应的技术能力，夯实行业持续稳定的发展基础；构建行业数据共享平台，打破“数据孤岛”局面，支持各行业数据的共享交易，促进行业资源整合；构建各领域知识融合系统，实现各行业互连互通，助力经济活动各环节的重构；将人工智能技术的创新与实业深度融合，解决新问题，打造新模式，全面推进人工智能在经济、社会及基础设施建设等领域的广泛应用。

结束语

人工智能开源软件是我国人工智能发展的重要基础，现已成为世界各国关注的新焦点、各国产业布局的新方向、领军企业竞争的新赛道，是抢占全球人工智能主导权的必争之地，更是我国实现产业转型升级，完成弯道超车的新契机。

我国人工智能开源软件的健康发展需要正视问题并寻找对策。本白皮书从历史和现状、技术和生态两条主线全面的论述了人工智能开源软件的发展规律和现存问题。在人工智能开源软件的发展历史上，由于我国参与较少，造成了现今人工智能开源软件市场由西方发达国家主导的局面。同时，在我国的人工智能开源软件的技术和产业生态方面，也存在一定的不足。为此，本白皮书提出了我国人工智能开源软件发展的三步路径，从直接采用、部分参与，到重点突破、局部主导，再到最终的自主引领、广泛应用的战略目标。这不仅是基于我国人工智能开源软件的现实状况分析而找出的落地方法，更是我国人工智能开源软件在未来发展可以逐步实施的有效手段。此外，为了促使三步路径战略最终的成功实现，本白皮书提出并构建了我国人工智能开源软件发展三维模型，从构建开源生态、营造外部环境、推动行业应用三方面来综合推动人工智能开源软件的发展进步。本白皮书将不断根据技术和生态的发展需求，进行完善和补充。同时，也期望通过本白皮书的分享，呼吁社会各界共同参与，加强人工智能开源软件研究、产业投入、标准建设和应用。

正如习总书记在2018年5月的两院院士大会讲话中所说：“实践反复告诉我们，关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。”“要以鼎新带动革故。”“自主创新是开放环境下的创新，绝不能关起门来搞而是要聚四海之气，借八方之力。”我国人工智能开源软件的发展就是要建立在独

立自主，开拓创新基础上，解决现有难题，扭转困境。这需要全国各界同仁的共同携手努力以推动我国人工智能开源软件的快速、健康发展，从而实现奋起直追、超越引领的伟大目标。

附录A

典型人工智能开源软件特性统计表

序号	名称	应用领域	开源软件 编程语言	维护者	时间	地域	License
1	CUDA	计算平台	C/C++	NVIDIA	2007	美国	Custom License
2	ROCm	计算平台	C/C++	AMD	2016	美国	Custom License
3	OpenCL	计算平台	C/C++	APPLE、 Intel、 NVIDIA、 AMD等	2008	美国	Custom License
4	Caffe	机器学习 框架	C++	UCBerkeley	2014	美国	BSD
5	Caffe2	机器学习 框架	C++	Facebook	2017	美国	Apache-2.0
6	TensorFlow	机器学习 框架	C++/ Python	Google	2015	美国	Apache-2.0
7	CNTK	机器学习 框架	C++	Microsoft	2016	美国	MIT
8	MXNet	机器学习 框架	C++/ Python	Amazon	2015	美国	Apache-2.0
9	Theano	机器学习 框架	C/Python	Theano Development Team	2008	加拿大	BSD
10	Torch	机器学习 框架	C/Lua	Ronan、 Clément、 Koray and Soumith	2007	美国	BSD
11	PaddlePaddle	机器学习 框架	C++	百度	2016	中国	Apache-2.0
12	Keras	机器学习 框架	Python	François Chollet	2015	美国	MIT
13	Scikit-learn	机器学习 框架	Python	Andreas C.Müller	2007	美国	BSD
14	Mahout	机器学习 框架	Java	Apache Software Foundation	2009	美国	Apache-2.0

序号	名称	应用领域	开源软件编程语言	维护者	时间	地域	License
15	MLlib	机器学习框架	Scala	Apache Software Foundation	2010	美国	Apache-2.0
16	TensorLayer	机器学习框架	Python	Imperial College London	2016	英国	Apache-2.0
17	PyBrain	机器学习框架	Python	Dalle Molle Institute for Artificial Intelligence, Technische Universität München	2009	瑞士 & 德国	BSD
18	NLTK	自然语言处理	Python/JavaScript	NLTK Team	2001	美国	Apache-2.0
19	gensim	自然语言处理	Python	Radim Rehurek	2008	美国	LGPL-2.1
20	OpenNLP	自然语言处理	Java	Apache	2010	美国	Apache 2.0
21	LTP	自然语言处理	C++	哈工大社会计算与信息检索研究中心	2011	中国	GPL
22	Word2Vec	自然语言处理	C	Google	2013	美国	Apache-2.0
23	CoreNLP	自然语言处理	Java	斯坦福自然语言处理组	2013	美国	GPL
24	GloVe	自然语言处理	C	斯坦福自然语言处理组	2014	美国	Apache-2.0
25	spaCy	自然语言处理	Python	Explosion AI	2014	德国	The MIT License
26	FudanNLP	自然语言处理	Java	复旦大学自然语言处理实验室	2014	中国	LGPL-3.0
27	HanLP	自然语言处理	Java	上海林原科技有限公司	2014	中国	Apache-2.0
28	NLPIR	自然语言处理	Java	中科院计算所	2015	中国	过期
29	fastText	自然语言处理	C++	Facebook	2016	美国	BSD-licensed

序号	名称	应用领域	开源软件编程语言	维护者	时间	地域	License
30	THULAC	自然语言处理	C++	清华大学自然语言处理与社会人文计算实验室	2016	中国	MIT
31	OpenNMT	自然语言处理	Lua	哈佛大学	2016	美国	MIT
32	Fairseq	自然语言处理	Lua	Facebook	2017	美国	BSD-licensed
33	sourceAFIS	计算机视觉	Java/.NET	Robert Van	2017	斯洛伐克	Apache-2.0
34	OpenBR	计算机视觉	C/C++	Josh Klontz	2012	美国	Apache-2.0
35	asmlibrary	计算机视觉	C/C++	YAO Wei	2012	中国	MIT
36	ITU Gaze Tracker	计算机视觉	C#	Gaze Group	2009	丹麦	GPL-2.0
37	OpenVSS	计算机视觉	C/C++	Prince of Songkla University	2007	泰国	New BSD
38	Openvis3d	计算机视觉	Matlab	University of Maryland	2006	美国	Apache-2.0
39	OpenCV	计算机视觉	C/C++	Intel	1999	美国	BSD
40	TensorFlow Slim	计算机视觉	Python	Google	2017	美国	Apache-2.0
41	TensorFlow Object detection API	计算机视觉	Python	Google	2017	美国	Apache-2.0
42	Im2txt	计算机视觉	Python	Google	2016	美国	Apache-2.0
43	Detectron	计算机视觉	Python	Facebook	2018	美国	Apache-2.0
44	Insightface	计算机视觉	Python	DeepInsight	2018	中国	MIT
45	Facenet	计算机视觉	Python	Google	2016	美国	MIT
46	CTPN	计算机视觉	Python	中国科学院深圳先进技术研究院	2016	中国	MIT

序号	名称	应用领域	开源软件编程语言	维护者	时间	地域	License
47	CRNN	计算机视觉	Python	华中科技大学	2015	中国	MIT
48	tesseract	计算机视觉	C++	Google	2005	美国	Apache-2.0
49	CMU sphinx	智能语音	Python	CMU	2008	美国	GPL-2.0
50	Kaldi	智能语音	C++	Daniel Povey	2011	美国	Apache-2.0
51	HTK	智能语音	C	Cambridge University	1989	英国	Custom License
52	Julius	智能语音	C	京都大学	1997	日本	APGL-3.0
53	ISIP	智能语音	C	密西西比州立大学	1991	美国	-
54	Mary	智能语音	Java	DFKI (德国人工智能研究中心)	2014	德国	MIT
55	Festival	智能语音	C++	University of Edinburgh	1999	英国	MIT
56	flit	智能语音	Python	CMU	2015	美国	BSD 3-clause
57	Festvox	智能语音	Scheme	CMU	1999	美国	GPL-3.0
58	deep-voice-conversion	智能语音	Python	Dabi Ahn	2017	美国	GPL-3.0
59	ROS	无人系统	C++/ Python	Willow Garage	2007	美国	BSD
60	MOOS-Ivp	无人系统	C/C++	Oxford Robotics Institute	2011	美国	BSD
61	MRPT	无人系统	C/C++	Jose-Luis Blanco-Claraco	2004	美国	BSD
62	DART	无人系统	C/C++	C. Karen Liu	2008	美国	BSD
63	RL	无人系统	C/C++	Markus Rickert	2004	美国	BSD
64	ROBWORK	无人系统	C/C++	SDURobotics (University of Southern Denmark)	2006	丹麦	Apache-2.0
65	APM	无人系统	C++	Andrew Tridgell	2009	美国	GPL-3.0
66	PX4	无人系统	C++	Lorenz Meier	2012	瑞士	BSD
67	Apollo	无人系统	C++	百度	2017	中国	Apache-2.0

序号	名称	应用领域	开源软件编程语言	维护者	时间	地域	License
68	Autoware	无人系统	C++	Tier IV	2016	日本	BSD
69	Openpilot	无人系统	C	Comma.ai	2016	美国	MIT
70	Protege	知识图谱	Java	斯坦福大学医学院生物信息研究中心	1999	美国	BSD 2-clause
71	Stanford openIE	知识图谱	Java	斯坦福大学自然语言组	2015	美国	GPL-2.0
72	Tuffy	知识图谱	Java	斯坦福信息实验室	2011	美国	Apache-2.0
73	OpenKE	知识图谱	C++/ Python	清华大学自然语言处理实验室	2017	中国	MIT
74	Grakn.AI	知识图谱	Java	Grakn Labs	2016	英国	AGPL-3.0
75	ConceptNet build tool	知识图谱	Python	麻省理工媒体实验室	1999	美国	Apache-2.0
76	ARToolkit	虚拟现实与增强现实	C++	DAQRI	1999	美国	LGPL-3.0
77	PTAM	虚拟现实与增强现实	C++	Oxford University Innovation	2008	英国	GPL-3.0
78	OpenCV-Marker-less-AR	虚拟现实与增强现实	C++	Takuya(个人)	2012	日本	MIT
79	A-Frame	虚拟现实与增强现实	JavaScript	Mozilla	2015	美国	MIT
80	Lullaby	虚拟现实与增强现实	C++	Google	2017	美国	Apache-2.0
81	AR.js	虚拟现实与增强现实	JavaScript	Jerome Etienne(个人)	2017	爱尔兰	MIT
82	DeepMind Lab	游戏智能	C++	Google	2010	美国	Apache 2.0
83	Project Malmo	游戏智能	Java	Microsoft	2015	美国	MIT
84	STARCRAFT II API	游戏智能	C++	Blizzard	2017	美国	MIT

序号	名称	应用领域	开源软件 编程语言	维护者	时间	地域	License
85	OpenAI Universe	游戏智能	Python	OpenAI	2016	美国	MIT
86	Stockfish	游戏智能	C++	"Marco Costalba Joona Kiiski Gary Linscott Tord Romstad"	2008	意大利	GPL-3.0
87	RocAlphaGo	游戏智能	Python	Tyler Trine	2016	美国	MIT
88	Minigo	游戏智能	Python	Andrew Jackson	2017	美国	Apache-2.0
89	CleverHans	信息安全	Python	Google	2016	美国	MIT
90	Cuckoo	信息安全	Python/ JavaScript	Claudio Guarnieri	2010	美国	GPL-3.0
91	apktool	信息安全	Java	Connor Tumbleson	2010	美国	Apache-2.0
92	malware-detection	信息安全	Python	Derek Chadwick	2016	澳大利亚	GPL-3.0
93	Deep-Android-Malware-Detection	信息安全	Lua/ Python	Arizona State University	2016	美国	-

附录B

典型人工智能开放数据集特性统计表

序号	名称	应用领域	维护者	国家	时间	数据集规模
1	Quora Question Pairs	自然语言处理	Quora	美国	2017	相似问题(对)/404,000
2	SQuAD	自然语言处理	斯坦福大学	美国	2016	问答(对)/100,000
3	bAbi	自然语言处理	Facebook	美国	2015	问答(对)/40,000
4	IMDB	自然语言处理	Amazon	美国	2011	电影(部)/50,000
5	MSMARCO	自然语言处理	Microsoft	美国	2016	问答(对)/100,000
6	Stanford Sentiment Treebank	自然语言处理	斯坦福大学	美国	2013	句子(句)/11,855
7	SemEval2014	自然语言处理	The Association for Computational Linguistics	国际学术组织	2014	句子(句)/7,686
8	SemEval2015	自然语言处理	The Association for Computational Linguistics	国际学术组织	2015	句子(句)/7,087
9	mnist	计算机视觉	lecun	美国	1998	图片(张)/70,000
10	cifar-10	计算机视觉	多伦多大学	加拿大	2009	图片(张)/60,000
11	cifar-100	计算机视觉	多伦多大学	加拿大	2009	图片(张)/60,000
12	Pascal VOC	计算机视觉	Pascal	美国	2005-2012	图片(张)/11,530
13	ImageNet	计算机视觉	imagenet	美国	2010-2017	图片(张)/14,000,000
14	ms-coco	计算机视觉	Microsoft	美国	2014-2017	图片(张)/330,000
15	wider face	计算机视觉	香港中文大学多媒体实验室	中国香港	2015	图片(张)/32,203
16	MALF dataset	计算机视觉	中国科学院自动化研究所	中国	2015	图片(张)/5,250

序号	名称	应用领域	维护者	国家	时间	数据集规模
17	Fddb dataset	计算机视觉	马萨诸塞大学	美国	2010	图片(张)/2,845
18	AFW dataset	计算机视觉	UCI	美国	2012	图片(张)/205
19	LFW	计算机视觉	马萨诸塞大学	美国	2007	图片(张)/13,233
20	CelebA	计算机视觉	香港中文大学多媒体实验室	中国香港	2015	图片(张)/202,599
21	PubFig	计算机视觉	哥伦比亚大学	美国	2009	图片(张)/58,767
22	YouTube Faces DB	计算机视觉	YouTube	美国	2011	视频(段)/3,425
23	CASIA-webface	计算机视觉	中国科学院自动化研究所	中国	2014	图片(张)/494,414
24	KITTI	计算机视觉	Karlsruhe Institute of Technology	德国	2012	图片(张)/14,999
25	2000 HUB5 English	智能语音	语言数据联盟LDC	美国	2002	-
26	LibriSpeech	智能语音	-	美国	2009	语音(小时)/1,000
27	VoxForge	智能语音	-	美国	2012	-
28	TIMIT	智能语音	语言数据联盟LDC	美国	1993	录音(人次)/630
29	CHIME	智能语音	谢菲尔德大学	英国	2011	录音(人次)/9,000
30	TED-LIUM	智能语音	法国国立缅因大学	法国	2011	录音(人次)/1,495
31	CMU_ARCTIC	智能语音	卡耐基梅隆大学	美国	-	语音(句)/1,150
32	Freebase	知识图谱	Google	美国	2007	三元组(对)/19亿
33	DBpedia	知识图谱	莱比锡大学&柏林自由大学	德国	2007	三元组(对)/24.6亿
34	Schema.org	知识图谱	Schema.org Steering Group	美国	2011	网页/31%
35	WikiData	知识图谱	Wikimedia Foundation	美国	2012	知识条目(条)/24,700,000
36	BabelNet	知识图谱	罗马大学计算语言学实验室	意大利	2010	三元组(对)/19亿
37	NELL	知识图谱	卡内基梅隆大学	美国	2014	三元组(对)/3,000,000
38	YAGO	知识图谱	Max Planck Institute for Informatics	德国	2008	三元组(对)/1.2亿
39	Microsoft ConceptGraph	知识图谱	Microsoft	美国	2016	关系(条)/87,600,000

序号	名称	应用领域	维护者	国家	时间	数据集规模
40	CN-DBPeidia	知识图谱	复旦大学	中国	2016	三元组(对)/ 67,000,000
41	Microsoft Malware Classification Challenge	信息安全	Microsoft	美国	2015	样本(个)/20,000
42	KDD99	信息安全	美国国防部高级规 划署 (DARPA)	美国	1999	网络连接记录 (条)/7,000,000
43	NSL-KDD	信息安全	University of New Brunswick	加拿大	2009	网络连接记录 (条)/5,000,000

人工智能开源软件应用领域与场景案例

C.1 人工智能开源软件应用全景图

人工智能开源软件赋予了传统行业及其业务场景新势能，为智能经济升级、智能社会建设与基础设施生态环境构建提供了技术支撑，同时降低了投入成本，加快了产品与技术的迭代频率，提高了经济效益和社会效益。在中国，人工智能开源软件的应用价值被不断发掘，其应用领域覆盖到国计民生的各个行业。各个行业基于人工智能开源软件模型与算法，形成人工智能技术应用解决方案，并由此涌现出大量的应用场景。

本白皮书以国家统计局GB/T 4754—2017《国民经济行业分类》为依据，结合国务院《新一代人工智能发展规划》，对已采用人工智能开源软件技术的行业案例进行分类，对3大领域、19个行业的36个案例进行总结提炼分析，提出人工智能开源软件的应用全景图，如图25所示。

C.2 智能经济

《新一代人工智能发展规划》提出，要促进人工智能与各产业领域深度融合，形成数据驱动、人机协同、跨界融合、共创分享的智能经济形态。数据和知识已成为经济增长的第一要素，人机协同成为主流生产和服务方式，跨界融合成为重要经济模式，共创分享成为经济生态基本特征，个性化需求与定制成为消费新潮流，在此背景下，生产率大幅提升，引领产业向价值链高端迈进，有力支撑实体经济发展，全面提升经济发展质量和效益。

目前，在制造、农业、物流、金融、商务、家居、能源、水利等领域，人工智能已经得到了较为广泛的应用。在制造业领域，研发设计环节

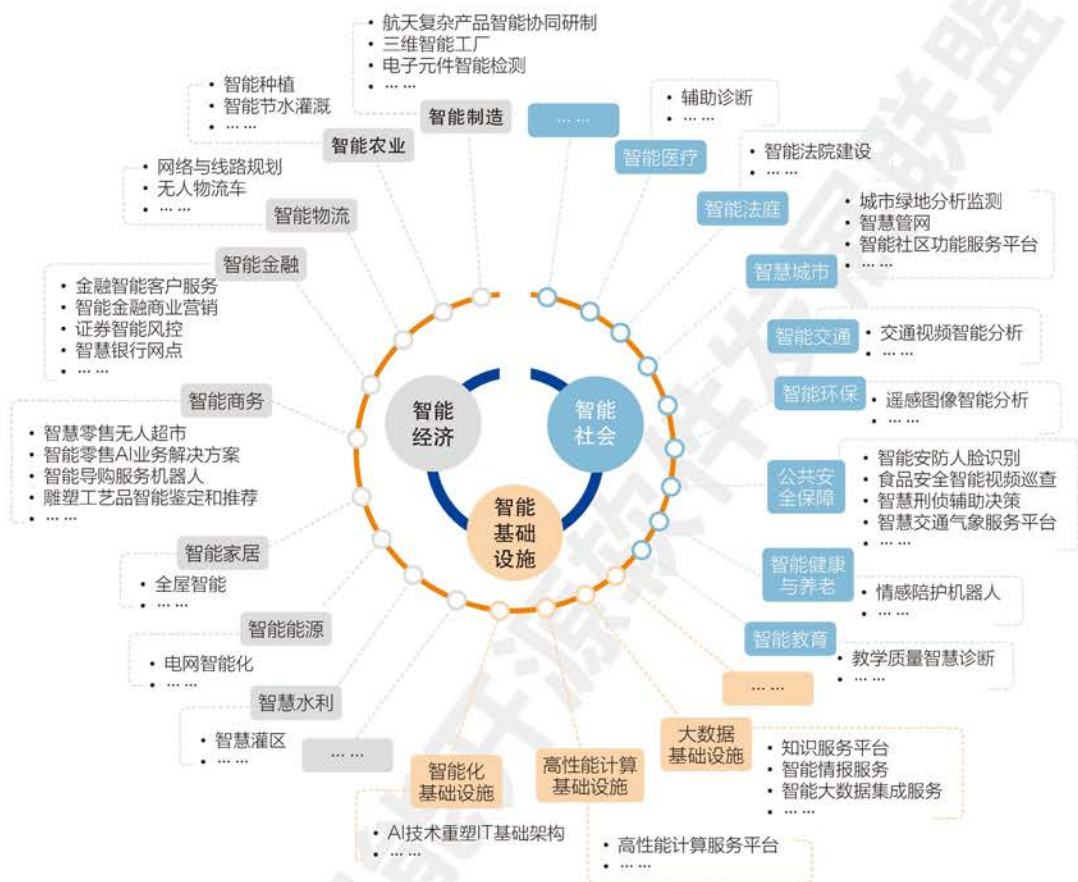


图25 人工智能开源软件的应用全景图

实现产品的个性化、智能化设计；生产管理环节提高产品质量和降低缺陷率，提高故障预测和诊断能力。在农业领域，优化了选地、选种、种植、收获、病虫害灾害预防等环节，未来还将在更多环节发挥预测预警和决策支持等优势。在物流领域，线路规划、任务调度等智能决策，以及无人机、无人车等智能化设备的使用，有效提高了物流运作效率，降低物流成本。在金融领域，提高前台金融服务水平，提升中台授信、各类金融交易和金融分析中的智能决策能力，增强后台智能化的风险防控和监督能力。在商

务领域，智能零售为消费者提供随时、随地、便捷、高效的购物体验，智能营销系统实现从大众营销模式转变为个性化营销模式。在家居领域，智能家居系统能够主动理解用户意图，自动为用户提供个性化服务，使家电运行更加节能高效。在能源领域，电网智能化运维系统能够降低人员投入，增加设备使用寿命，提高供电可靠性。在水利领域，通过构建区域灌区需水模型、用水优化调度模型、调水评价模型等智慧化模型，实现灌区用水的科学调配、实时调控，显著提高灌区的经济效益。

本白皮书分别从智能制造、智能农业、智能物流、智能金融、智能商务、智能家居、智能能源、智能水利等领域，通过具体的应用案例，分析阐述基于人工智能技术的解决方案及开源技术选型思路，及其对行业带来的影响。

C.2.1 智能制造

C.2.1.1 航天复杂产品智能协同研制

背景与需求

航天复杂产品研制具有知识含量高、专业学科技术广、新技术多学科交叉突出、配套的研制单位多等特点，现有技术手段和传统研制模式难以应对以下主要问题：产品集成度高，多品种、变批量，生产缺乏柔性、难以快速响应需求、产能不足，无法满足国家急需；缺少生产高度灵活性、智能化、节约资源的系统整合手段；共享协作不足、协同效率低、信息一致性差；研制过程不透明、决策缺乏数据支撑、问题追溯困难。

基于人工智能技术的解决方案

在纵向层面，实现设备层、车间层、企业层和企业互联层智能协同：设备层，通过工业网关集成接入工业现场设备，实现设备实时感知、智能资产管控等应用；车间层，通过设备级互联、虚拟制造、制造资源平台化、车间内部物流升级、VR产线仿真等应用，实现车间内部生产能力之

间的协同调度与优化运行；企业层，实现企业营销、研发、采购、生产等经营过程的数字化、网络化和智能化；企业互联层，建立云化企业群环境，实现企业与企业之间的能力协同、资源共享。在横向层面，实现航天复杂产品全生命周期的智能研制过程。

开源技术选型思路

此类应用场景中，引入TensorFlow、Caffe、PaddlePaddle人工智能开源框架，在PaaS服务中，提供开放的人工智能引擎、人工智能开发工具及组件、通用类人工智能模型、面向工业智能分析的工业人工智能模型以及相关的人工智能API；在SaaS服务中，依托航天云网海量优质工业数据与DNN深度神经网络算法，构建图像识别及自然语言处理模型，提供生产资源智能调度、虚拟工厂、设备故障预测、精密加工检测等人工智能应用，可显著提高航天复杂产品智能协同研制能力。

经济效益和社会效益

此类应用实现航天复杂产品的智能协同研制。在制造资源/能力协同方面，显著提升了协同效率；在设计生产协同方面，提升了云端软件资源和高性能计算资源共享利用率；通过多学科协同、跨阶段并行研制，提升研制效率；在智能生产方面，提升了生产效率和产品的一次加工合格率。目前，国内航天云网已有此类应用的具体应用案例。

C.2.1.2 三维智能工厂

背景与需求

针对制造企业物理资源与数字世界之间存在交互数字鸿沟、多信息系统形成的海量数据整合不充分和利用率低、多系统间的数据孤立造成信息孤岛效应、数据可视化效果不佳等工厂转型升级存在的问题，三维智能工厂通过在计算机上重构三维虚拟工厂，加强数据智慧应用，实现以泛在感知和泛在智能服务为特征的数字化工厂，实现工厂全生命周期的可视化管

理等方式提高资源利用率、管理效率和应急决策能力，节约运营成本。

基于人工智能技术的解决方案

某机构研发的三维智能工厂的基础是计算机三维重构技术，核心是构建大数据驱动的工厂数字孪生，实现实时伴随运行、离线/在线仿真优化和应急决策支持。以虚拟工厂三维重构为例，采用多源数据智能融合建模技术，基于无人机、3D激光扫描、PDMS、三维模型等多源多粒度数据，借助一系列点云数据处理、三维模型处理等开源平台实现数据的融合处理和虚拟工厂的逼真三维重构。

开源技术选型思路

三维重构方面可以采用开源点云数据平台（如PCL）实现对工厂点云数据的处理，也可以通过SFM等算法进行离线三维重构，通过SIFT、SURF等算法实现特征点的提取与优化，并通过开源图形引擎（如OpenCASCADE、OpenCV等）进行场景管理。数据挖掘与决策分析通过K-Means、KNN、决策树和朴素贝叶斯等算法实现对数据的深度分析和仿真模拟，为决策提供支持。

经济效益和社会效益

该三维智能工厂的建立通过多层面协作实现实时互连、工厂全过程优化、降本增效、精细化管理、保障长周期运行和持续推进节能减排，有助于提高工厂资源利用率，提升管理效率和应急决策能力，节约运营成本。

目前，国内以中国石油为代表的连续制造和以航天科工为代表的离散制造企业正大力推进智能工厂和智慧车间建设，航天科工二院所属系统仿真技术应用国家工程中心已经在多个工厂或车间中实现应用实践。

C.2.1.3 电子元件智能检测

背景与需求

电子元器件制造作为劳动密集型、资金密集型产业，在当前国内人口

红利消失、劳动力成本不断上升、经济下行的环境下，正面临巨大的竞争压力。电子元器件发展趋势为智能化、集成化和小型化。目前，以人工为主的外观检测方式，在速度、精度和准确度等方面都有所欠缺。此方式不仅受限于肉眼检测速度慢、效率低，还易受工人经验和身体状况等主观因素的影响，故已无法满足企业日益扩大的生产能力需求。

基于人工智能技术的解决方案

以某PCB元件错误类型的智能检测为例，通过采用人工智能中的深度卷积神经网络开源技术，可帮助PCB工厂提高自动化生产能力。在实际加工中，还可通过叠加采用机械臂及数字化加工，如激光打孔、激光直接成像、喷墨打印、飞针测试，实现无照明底片、无工装夹具的生产。人工智能技术的投入可缩短生产周期、满足客户需求，从而取得行业竞争优势。

基于深度卷积神经网络技术的元件切片识别系统，可大大提高电子元器件外观检测的精度、速度和成功率，并实时提供在线检测结果记录、分析和统计，便于对外观不良品成因的查找，实现外观检测工艺的数字化、网络化和智能化。

开源技术选型思路

此类应用场景中采用的是深度卷积神经网络开源技术，以及CNN、Yolo V3算法。从深度卷积神经网络发展脉络看，出现了AlexNet、VGG-Nets、GoogleNet、ResNet、SENet等经典网络。其中，ResNet及其思想对CNN研究的贡献非常显著，具有很强的推广性。本应用案例选用ResNet作为基础网络，有效提高了电子元器件外观检测的工作效率。该应用是基于TensorFlow开源软件。

经济效益和社会效益

此类应用在经济效益方面，可提高劳动生产率。社会效益层面，通过与数字系统和数据科学、自动化和自适应过程相结合，可以使生产更加贴近市场和需求。促使相关制造业的转型升级，同时将助力于智慧城市的构

建发展，增加绿色GDP。

为了改善电子制造业现状，目前国信优易已实现该领域的应用原型。

C.2.2 智能农业

C.2.2.1 智能种植

背景与需求

中国的农业正经历从传统的生产方式向适度规模经营的现代化农业转变。传统农业受限于生产方式、信息基础、天气环境等因素，对于产量预估、市场流通的风险把控能力不足，应对自然灾害的能力低，尚无法根据当地土地情况和市场做出合理种植决策。中国农业的发展迫切需要改变“靠天吃饭”的局面，用大数据和智能分析手段实现“知天吃饭”。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构的基于农业大数据的单独品种智能种植系统（简称单品大数据平台）为例，该系统基于土地信息、土壤环境、种植作物生长期模型，与物联网设备采集的数据和气候数据、市场行情等因素，针对单一农作物数据进行全维度采集，构建多层次立体的农业大数据系统；基于各类数据要素进行关联分析，为主流新型农业经营主体提供单独种植品种从选种、种植、灾害预防到销售渠道对接的全生命周期智能方案。

开源技术选型思路

该智能农业系统采用机器学习Mahout、Spark MLlib等开源框架，使用基于Content-Base、CF、Model-Base的推荐规则，采用CB、ItemCF、UserCF、FM、ALS、FPM等算法，通过相似度计算规则，提高产品服务推荐的多种指标，用于农业生产资料的推荐。智能分析基于TensorFlow开源平台，结合Spark MLlib框架，采用DNN、RBM、RNN、CNN等算法，通过自学习、自进化的多层处理、回溯能力，提高智能分析健壮性、适应

性，精准预测农业生产中各因素比重，进行渐进化调整，达到增产、增收、降低农药化肥使用目的。

经济效益和社会效益

该应用以大数据和信息化手段整合、优化资源配置，实现最优产出，提升产量；通过打造品牌和实现品牌的认证等一系列方式，提高产品附加值，打造标准化生产手段，助力新农人节本增收；通过连接产业深加工、服务业、大数据产业等第二产业和第三产业，促进产业融合发展；通过促进信息资源的广泛利用与深度挖掘，发挥协同效应，为决策提供精准科学依据。

目前，国内农业大数据服务公司都在积极探索和建设单品大数据平台，如神州土地、九次方等都在探索农业单品的大数据应用。

C.2.2.2 智能节水灌溉

背景与需求

在资源环境约束趋紧的背景下，面临着生产力严重不足、耕地土壤品质下降、生产工艺落后和农产品质量安全等问题，农业发展方式粗放的现象日益凸显，农业生产、环境保护、经济发展之间的矛盾日益突出。推进信息化与农业深度融合，破解当前农业可持续发展中遇到的问题，提高农业比较效益，缓解资源环境压力，是国家新时代智慧农业发展的必然要求。

基于人工智能技术的解决方案

智慧农业在人工智能技术应用方面主要集中在智能节水灌溉、基于多源遥感影像的农业监测预警与宏观决策支持等应用场景。某机构研发的智能节水灌溉通过农业生产的精准化种植、远程控制与监测和智能化决策等手段实现农业种植中水、肥、药一体化应用管理。农业监测预警与宏观决策通过天地空一体化的全方位监测，为农业资源调查、农作物估产、农业

灾害预测和评估、农业生态环境监测、农业安全等智慧应用提供服务。

开源技术选型思路

通过采用SVM等图像识别和处理深度学习算法，实现对农作物生长状态的智能监测；通过采用DeepLab v3语义分割等开源算法实现对海量遥感图像的分类、提取和分割；通过采用逻辑回归、朴素贝叶斯、随机森林、聚类算法等实现对宏观预测和辅助决策。目前，此类方法已经在多个开源平台中有算法原型，并采用MLlib平台进行了验证。

经济效益和社会效益

该应用的落地将通过实现精细化耕作，节约资源、提高农业效率。智能农业的开展推动农业向智能化方向发展，有助于加强农业产品安全，提升农业竞争力，推动资源永续利用和农业可持续发展。

目前，航天科工集团已明确将以智慧农业为重要组成部分的智慧产业纳入集团重点发展战略，筹建了智慧农业产业联盟，并在智能节水灌溉、粮食智慧物流、空天地农业监测预警和粮食安全宏观决策支持等方面实现产业或示范应用。

C.2.3 智能物流

C.2.3.1 网络与线路规划

背景与需求

随着经济发展以及人们网上购物习惯的形成，快递行业得到了迅猛的发展，快递企业的网络规模与快件量日益扩大。随之引发了两方面问题，一方面，快件量的增加导致快递企业的配送成本逐步增高；另一方面，随着各快递企业的物流配送车辆增多，极大增加了城市交通的负担。因此，对传统快递配送模式的改进和创新，在减少快递企业物流成本、提高快件时效、缓解城市交通拥挤方面有着非常重要的作用。

基于人工智能技术的解决方案

网络与线路规划需要解决快件时效、人车资源调配、交通运输等物流行业最核心问题。路径规划VRP问题（Vehicle Routing Problem）存在解空间与计算量巨大、实时接收运单输入易陷入局部最优等难题，以某机构研发的智能路径规划产品为例，它结合了智能选点、网络与线路规划的综合性课题，涵盖了场地分区与配载、同城件去中心化、集散货模式等各方面内容，达成提时效、降成本的目的。采用国际主流的大规模邻域搜索算法，通过探索有效的搜索策略，使其能保持大规模的邻域寻优能力，同时克服低效耗时的弱点；引入国际前沿的强化学习技术，并用于同城、收派员文件提速等问题上；通过算法智能地规划骑士的任务，解决了快件状态在原有固定班次模式下，骑士存在过忙或过闲不均衡状态的问题。

开源技术选型思路

运筹学、强化学习等开源技术不仅在众多领域中发挥着重大作用，也是智能路径规划中的核心组成部分。从运筹学算法的实践与落地，到分布式并行计算架构结合，再到强化学习+蒙特卡洛树搜索的大胆应用，实现了实时输出最优路线，适配各种动态静态业务场景，解决路径规划的各种复杂问题。

经济效益和社会效益

基于人工智能的解决方案极大地提升了资源的利用率，为公司节省大量的人力和财力成本。通过算法计算得到货物的车次和路线，动态、实时地更新散货路线，自动匹配车型、车辆和司机，彻底解决由于件量波动导致散货支线车辆不足或过剩问题，同时进一步减少占地面积。

目前，顺丰集团对传统快递配送模式不断改进和创新，在网络与线路规划已有实践。

C.2.3.2 无人物流车

背景与需求

近年来，受益于电商的高速发展，我国快递业务量从2007年的12.02亿件增长到了2015年的206.66亿件，约为2007年的17倍，实现快递业务收入2769.6亿元，近五年年均复合增长率超过30%。然而，但由于我国快递业的从业人员增长有限，再加之人口红利的下降，单纯通过增加劳动人口来保证快递业的增长已不可行，提高快递人员的效率则成为了快递业发展的关键。为此，通过无人设备自动送货势在必行。而通过无人机配送同城快件存在空域不开放、安全隐患无法消除、无人机配送点固定等问题，无法满足客户个性化需求。

基于人工智能技术的解决方案

无人物流车是运行在特定区域内具有智能行驶功能的移动机器人。庞大的从业人员数量以及快件不断增长的需求，给各快递公司的管理带来了大量问题，如配送员业务不熟练导致送错、快递员对环境不熟悉而浪费时间、快递员与客户因未能及时碰面而被迫重新配送等。

某机构运用SLAM技术、KNN算法、马尔可夫聚类算法等技术实现了无人车的路径规划与精准避障的功能。同时，多个开源平台的人脸识别算法等也被使用，从而丰富无人车与客户的人机交互方式，带来更好的用户体验。

开源技术选型思路

某机构运用SLAM技术实现了无人车的路径规划与精准避障的功能。基于TensonFlow2框架、KNN算法、马尔可夫聚类算法等技术实现人脸识别。开源平台减少了社会研发成本、避免了各种软件缺陷的引入；实现了快速搭建自己的深度学习模型；实现了图像处理和计算机视觉领域的很多通用算法，尤其是人脸识别算法。使用开源组件能够大大提高项目开发进度以及取得良好的功能效果，尤其是大公司的开源组件，无论是性能、稳

定性还是效果方面都较成熟。

经济效益和社会效益

智能配送为快递公司节省了大量的成本，也为客户节省了大量的成本，不仅提高了物流服务质量，还促进了电子商务发展，起到带头示范作用，掀起了各家机器人公司研究开发无人物流车的热情，从而赢得了市场和业界的双料口碑。

目前，哈工大机器人已设计开发了无人物流车系统，高效地解决了上述难题。

C.2.4 智能金融

C.2.4.1 金融智能客户服务

背景与需求

在金融服务领域，金融机构需要投入大量人力、物力、资源用于客户关系的维护交流，发现客户需求，以获取金融业务价值。传统银行和金融机构面对客户的运营模式，使用网点柜台处理业务，柜台处理效率低、柜员负担重、耗时长、客户体验满意感低。

基于人工智能技术的解决方案

以某家金融机构所采用的智能客服为例，该智能客服的问答引擎基于亿级海量聊天信息，通过深度学习模型训练而成。其深度学习过程经历语言理解、大数据分析、噪音去除、有效数据提取、用户画像、用户回复、知识点学习等数个环节。应用者仅需采用垂直领域的知识数据即可对智能客服进行训练。既高效满足了海量客户的服务请求，也大大降低了在客户服务方面投入的成本。智能客服应用的优越性体现在：基于场景化的数据，实现丰富的金融客户服务场景，可构建多层次对话模型；基于云平台研发，可为大数据存储和大型计算提供优秀的基础服务；算法储备丰富；集成多种人工智能开源软件技术，可实现文本匹配、文本分类与多轮对话

模块的优化。

开源技术选型思路

在智能客服机器人的几个研发模块中，文本匹配、文本分类和多轮对话分别使用了TensorFlow和XGBoost两个开源平台。其中TensorFlow使用了RNN、LSTM等深度学习算法，XGBoost使用了LR分类算法、GBTree集成学习算法等。

经济效益和社会效益

此类应用可帮助金融机构仅投入较低的成本即可高效地满足海量客户的服务请求。同时，该应用还可输出给缺乏基础设施技术开发能力的城镇和乡村级金融机构使用，助力普惠金融的实现。

目前，国内各大企业都在积极探索，微众银行、蚂蚁金服、小i机器人等已有该领域的应用案例。京东JIMI智能客服机器人不仅在金融领域，而且在电商零售领域已广泛的应用。

C.2.4.2 智能金融商业营销

背景与需求

相较传统银行机构的营销，互联网金融营销人工成本更低、效果更可控，但互联网模式的金融营销也有诸多挑战，包括渠道差异化营销、offer差异化营销、时段差异化营销、系列营销、成本控制、多效果指标等。传统机器学习针对以上每一点挑战都需要不同的模型，训练成本大，多模型的配合也需要额外工作，较难直接推广到不同业务。

基于人工智能技术的解决方案

以某金融机构的一款金融产品为例，其智能营销方案基于亿级样本数据，通过深度强化学习统一建模和训练和不断地自学习，以最低的成本最大化用户转化。为了满足以上需求，传统机器学习方法至少需要渠道决策

模型+offer决策模型+择时模型+系列营销模型+成本控制模型+触达率预估模型+点击率预估模型+转化率预估模型等多个模型合作。而该智能营销系统，把以上所有需求巧妙映射为强化学习的各个元素，在一个模型中进行自学习，既满足了业务需求，又大大降低了训练成本。该智能营销系统的优越性体现在：实现千人千面营销，引入深度强化学习进行统一建模，同时协调不同目标；通用性好，可以方便地迁移到不同业务，作为统一的商业解决方案；有源源不断的新算法可以迭代更新，不断优化。

开源技术选型思路

该智能营销系统采用深度强化学习算法，该类算法可引入的开源版本非常多，包括TensorFlow、ELF、CNTK等开源平台，目前在这些平台上都提供了丰富的算法原型，利用常用的强化学习的算法（包括DQN，A3C，DDPG等），并能在模拟器上直接运行，大大降低了从头开发的成本，缩短了研发周期。

经济效益和社会效益

该智能营销系统已经成功复用到多个业务线，在转化上提升明显，可带来百万级新增用户，为机构贡献亿级价值。同时，该系统还可输出给银行机构、以及缺乏基础设施技术开发能力的城镇和乡村级金融机构使用，助力普惠金融的实现。

目前，国内各大企业都在积极探索，如蚂蚁金服、微众银行、京东金融等企业都在尝试用智能营销系统优化营销效果；深圳市紫金支点助力传统银行实现智能营销。

C.2.4.3 证券智能风控

背景与需求

2016年底，中国证券业协会制定并发布《证券公司全面风险管理规范》，要求证券公司建立健全数据治理和质量控制机制。在证券市场上，

共有227家企业完成A股IPO，创2012年来新高。新三板挂牌企业总数超过一万家，同比增长98%。需要证券信息服务的机构、存在庞大的用户市场。当前券商面临较大的合规监管和内部管理的压力，在加强全面风险管理体系建设并落地实施方面存在十分紧迫的需求。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构为例，其通过知识图谱技术构建证券行业风险知识图谱。研究基于深度学习技术和集成分类模型融合技术，实现风险预测。研究基于预训练技术和参数调优技术促进预测精度的泛化能力的提升，从而实现精准风控模型的构建。研发的系统包含了三大风险控制功能和三大信息服务功能，包括信用风险、市场风险、操作风险的预测和管控，知识发现、客户分析和市场分析。

开源技术选型思路

目前，此类应用场景所采用的人工智能底层开源平台包括sklearn和TensorFlow。采用的算法包括word embedding、改进的autoencoder、改进的贝叶斯分类器、LSTM等。解决了包括文本特征提取问题、精准分类问题等。开源技术用于系统中的模块包括文本分析、深度学习、知识图谱等。

经济效益和社会效益

基于知识图谱技术构建的智能风控有利于促进基于数据的信息服务理念落地，更好地支撑证券行业的价值创造，提升证券行业风险控制能力。

目前，上海软中信息技术有限公司已在多家上海区域证券公司落地实施上述智能风控系统。北京文因互联科技有限公司实现了一种基于自然语言处理，知识图谱等人工智能技术的金融实体搜索系统，除了应用在证券行业的风险分析，其他主要的应用场景有线上尽职调查等。

C.2.4.4 智慧银行网点

背景与需求

目前，传统银行存在业务流程繁琐、办理效率低下、高柜隔离、服务质量难以保证等现状。同时，传统银行庞大复杂的业务系统涉及众多硬件设备，通讯手段和方式复杂多样，网络环境参数配置复杂。另外，相较于互联网金融，传统银行面临客户营销推荐不精准以及金库管理手段落后等困难和痛点。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构方案为例，应用场景需要打通银行网点各类设备之间屏障，串联设备、简化业务流程，运用人工智能技术，通过一系列交互触点与客户之间产生关联，并以此传递完整统一的智能体验和高质量服务。在业务上，当客户进入网点，采用人脸识别技术识别客户，智能引导客户到相应的机器人和其它设备完成交易；在渠道运营上，分析挖掘网点的自助交易、清机加钞、设备运行、设备故障等历史数据，实现设备加钞规划、故障诊断预测等功能，同时基于客户画像，推送差异化的产品和服务；在网点大堂，实现网点服务机器人与客户智能语音交互、智能导流、自动识别异常行为并启动安全预案。

开源技术选型思路

该方案在客户行为识别、现金头寸预测、加钞线路规划、设备故障诊断及客户营销等关键模块中，均采用了开源技术方案，基于TensorFlow、Scikit-learn、Spark MLlib等开源人工智能软件构建了面向银行实体渠道智慧运营的AI算法引擎。其中，客户行为识别采用CNN深度学习算法实现；现金头寸预测结合RNN深度学习算法、ARIMA时间序列算法预测自助设备未来清机周期的现金加钞头寸；加钞线路规划采用优化的K-Means聚类算法和蚁群算法解决加钞网点分组和线路优化问题；设备故障诊断采用C4.5决策树算法，分类产生用于诊断和预测故障的知识规则；客户营销基

于银行全渠道交易数据和改进的RFM模型识别客户生命周期，并采用协同过滤算法，实现对客户个人金融产品和服务的增强营销和交叉营销。

经济效益和社会效益

该应用帮助银行降低现金头寸占用，实现减员增效目标；改善客户体验，节省时间成本，提高社会效率；固化流程增加风控预警、提高反洗钱、反现金行贿、防盗卡等能力。

为加快传统银行转型，深圳市紫金支点已在多家银行落地实施上述人工智能赋能方案。

C.2.5 智能商务

C.2.5.1 智慧零售无人超市

背景与需求

在传统零售店的运营模式中，每百平米通常需要6-10个人来进行维护，运营管理成本高且效率不可控。在结算环节中，单个用户结算时间长短不一，结算效率受限于结算人手及结算台数量。另结算流程繁琐，造成用户体验下降，且店员与客户存在较高的交互成本。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构的无人超市为例，其利用行业开源技术，如人脸识别技术，IOT射频技术，在线支付等技术进行行业性的改造和创新，设计出了无感知引导式购物流程，利用平台全局大数据和线下门店区域大数据分析的强强结合，实现线上平台和线下店面的无缝连接及整个无人超市分布式、数据化、智能化的运营和管理。

技术选型思路

目前，此类应用场景可引进以下开源模块：人脸识别、RFID射频技术、轨迹跟踪等模块，使用了faster-RCNN、SSD、YOLO、YOLO2、

LSTM等深度学习算法实现目标的检测、分类、识别；通过LR逻辑回归分类算法、GBTree集成学习算法等实现决策判断。结合大数据以及一些开源传感器和视觉分析技术，通过数据分析对线下门店的选址、商品运营、用户运营做出优化指导。门店内的摄像头可利用开源图像识别等技术，计算客流、分析顾客走向和选择喜好，监控顾客违规行为，为优化店铺的布局提供科学的数据支持。店内使用了行业成熟的小长方形智能“电子价签”，可通过后台远程控制、实时完成价格同步优惠调整。

经济效益和社会效益

此应用可帮助地产商、大型零售商等企业拓展产业模式，扩展售卖形式。在服务用户的同时，为线下精准营销打下了基础。用户可以体验到全新的购物模式，提升购物速度。同时，对于超市运营者来说，能够缩减人力成本，提高人效与坪效。

目前，京东、阿里巴巴均有无人超市的输出与实践。截至2018年3月，京东已在北京、天津、烟台、大连、西安等城市布局10余家X无人超市。

C.2.5.2 智能零售AI业务解决方案

背景与需求

随着品质经济时代的到来，零售服务逐步从“千人一面”模式转变为“千人千面”的营销，人工智能的核心任务是要全方位理解用户，包括有效连续识别用户身份、从用户对话中理解用户需求、情绪偏好，推荐合适的商品并不断优化改进服务。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构为例，其基于人工智能技术的智能零售AI解决方案分为两层：AI计算能力层，为AI算法模型训练和上线应用调度管理计算资源，并提供灵活的算法框架支持和弹性部署能力；AI业务能力层，提供丰富的业

务API能力，实现关键智慧零售任务，包括：用户身份识别，用人脸识别和卡证识别技术，实现线上、线下用户的统一身份标识；用户对话理解和对话服务，支持语音识别服务，并通过自然语言处理技术，实现对用户对话的引导和理解，并支持文本转语音合成服务，实现和用户的自然对话交流；用户评论观点抽取和情感分析，即自动分析评论关注点和评论观点，提取文本摘要，理解用户观点及情感极性类别，帮助理解用户消费偏好和商品服务满意度；内容合规审计，即人工智能技术帮助对用户/商家上传的文本、图片、视频等内容进行多维度的检测，自动审查审查内容否合法合规，提升了人工运营效率。

开源技术选型思路

由于计算层需要处理海量的异构数据，因此选择Hadoop及Spark作为数据存储和数据预处理工具；AI离线训练需要巨大的内存和计算资源，因此采用docker对计算资源容器化并采用kubernetes对容器进行调度管理；AI业务层需要处理音视频和文本数据，采用了Caffe、TensorFlow算法框架以及CNN、LSTM、ResNet等开源算法来设计和训练深度学习模型，简化了特征处理，有效提高文本、音视频内容分析性能指标。

经济效益和社会效益

该智能零售AI业务平台为智能零售业务建设了一个灵活强大的AI基础设施，每天的API调用量超过2亿次，不仅大大节省了人力成本，帮助业务部门有效提升了客户购物体验和服务水平。

目前，京东的NeuHub AI业务平台采用了这样的解决方案架构设计，助力智能零售发展。

C.2.5.3 智能服务导购机器人

背景与需求

传统的引导、咨询等公共服务主要以人力为主。整体服务质量受到提

供引导、咨询人员的教育程度、知识储备、服务时间及主观情绪等多方面不确定因素的影响。同时，在进行数据统计过程中，容易出现欺骗、缺失等问题，造成政府、企业等机构在该领域投入的过度浪费。随着人工智能技术的快速进步，智能服务机器人为以上问题提供了一个有效解决方案，同时也满足了各服务型机构提高办公效率、提升服务质量、优化整体形象与品牌价值的客观需求。

基于人工智能技术的解决方案

以某大型连锁家居商城智能服务机器人的应用为例，该连锁家居商城在线下数千家门店投入数千台智能服务机器人，向消费者提供实时语音或视频咨询及路线引导等服务，提升了商城的服务质量及客户的消费体验。同时，通过智能服务机器人确保了大数据信息统计真实可信和大数据信息的高效分析。该智能服务机器人系统基于开源平台，利用云服务平台，结合深度学习、生物特征识别、自然语言处理、情感分析等算法，完善了视觉识别、语义理解、定位绘图、行动规划、感知、模拟、去噪音等技术应用，最终满足了实际场景需求。

开源技术选型思路

目前，此方案采用机器人开源操作系统ROS，引入建图定位、视觉等不同的开源技术。在建图定位中，采用了Slam常用算法Gmapping的框架融合方案，实现了实时地图构建与目标定位功能。在视觉关键技术中，采用基于机器学习的目标检测和识别方法，包括目标特征提取、分类器或神经网络设计等，实现目标识别的预测，包括libSVM的传统机器学习、TensorFlow的深度学习开源技术。

经济效益和社会效益

此类技术的应用节约了人力、物力、资金、时间等投入，提高平均工作效率，带来巨大的经济效益，同时推进公共服务领域产业信息化、智能化发展与产业变革。

智能服务机器人应用行业广泛，许多公司已有成熟案例。深圳市优必选科技有限公司的智能服务机器人应用较为成熟。此外，上海软中信息技术有限公司已在医疗导诊领域推出智能导诊机器人产品。

C.2.5.4 雕塑工艺品智能鉴定和推荐

背景与需求

当今国内雕塑工艺品行业具有以下特点：雕塑工艺品行业发展迅猛，但各个企业之间缺乏自身特色，同质化趋势严重；国内雕塑工艺品加工、制造整体水平有待提高。相关从业人员需要经验、技巧以及文化底蕴等多方面的积累；雕塑工艺品市场良莠不齐，以次充好、随意标价等乱象时有发生。普通消费者很难挑选到货真价实的雕塑工艺品。当下由于雕塑工艺品价格普遍较高，如果错买一次，不仅会造成消费者的财产损失，而且会丢失顾客对雕塑工艺品市场的信任。

基于人工智能技术的解决方案

以某家科技公司所设计的雕塑工艺品消费APP，运用开源人工智能软件技术对雕塑工艺品中的玉石工艺品进行强化学习，并结合用户在客户端的反馈结果来综合评估玉石的真实价格。此外，在智能推荐上，该软件可以通过开源的人工智能算法，利用少量的客户图片即可构建出合理的人物模型，并做出适当的玉石饰品推荐。

该产品与开源技术的结合，可使产品具备以下优越性：高效率，用训练好的网络去评估并快速得出结果；可塑性，深度学习只需要调整参数，就能改变模型，使得它具有很强的灵活性和成长性；普适性，神经网络是通过学习来解决问题，可以根据问题自动建立模型，所以能够适用于各种问题，而不是局限于某个固定的问题。

开源技术选型思路

目前，此类应用场景结合TensorFlow2开源人工智能框架使用回归分

析算法、感知哈希算法、k近邻算法、颜色分布直方图向量法等，这些方法能够大大提高项目开发进度，在节约成本的同时，也保证了软件整体的稳定性。

经济效益和社会效益

雕塑工艺品智能鉴定和推荐功能能够给用户较好的用户体验，以赢得更多用户的信任，增加客源，提高用户对系统的忠诚度，为用户提供高质量的个性化服务；同时得益于商品的及时准确推荐，能帮助商家提高销量，为商家赢得更大的经济效益。

目前，合肥响玥科技已有该领域的应用案例，如e定制项目已经正式上线。

C.2.6 智能家居

C.2.6.1 全屋智能

背景与需求

智能家居早期探索阶段受限于产品设计理念和配套技术不够成熟，仅具备手动远程控制或基于特定规则的自动化控制能力，使用过程中需要用户通过手机客户端操作，人机交互体验较差，操作繁琐，与智能家居理解用户需求、改善用户生活体验的设计初衷背道而驰。

基于人工智能技术的解决方案

某机构提出的全屋智能解决方案，综合采用语音识别、视觉识别等交互方式，以及深度学习结合领域模型、用户画像等技术手段，主动理解用户需求，自动控制家电设备，为用户提供个性化智能家居服务。以家庭智能热水器为例，先利用大数据技术进行信息搜集和分析，通过深度学习模型自动调节热水器加热时间、温度等状态，最终建立用水习惯和节电节水模型，根据用户生活规律在需要时恰好将水加热好，让家电运行能高效节能。

开源技术选型思路

该方案在语音识别、视觉识别等关键模块中，均采用了开源技术方案。其中，语音识别采用基于深度学习的混合声学模型结构，包括CN-N+LSTM+DNN的CLDNN架构以及粗粒度建模的chain结构，并针对家居室内特定声场环境，进行特定方式的数据采集和模拟，在复杂噪声和混响情况下，设计了能增强远场语音识别能力的引擎算法。视觉识别采用基于深度学习的目标检测技术，其中Faster-RCNN经过RCNN和Fast-RCNN的沉淀，在结构上将特征提取、候选区提取、目标分类和窗口回归整合在一个网络中，可显著提高目标物体监测速度和精度。该应用基于TensorFlow开源软件。

经济效益和社会效益

全屋智能解决方案赋能家电理解用户需求，主动为用户提供个性化生态场景服务。同时，可提高家电运行效率，降低能源消耗，实现绿色家居。智能家居产业的发展，积极推动传统家电产业的智能化升级，并以家庭应用场景为切入点，为健康医疗、智能零售等相关行业带来新的增长点。

目前，国内家电厂商都在积极研发智能家电设备以及智能家居整体解决方案，如海尔集团以智慧家电产品为载体，推出了全屋智能家居整体解决方案“海尔U+智慧家庭”。

C.2.7 智能能源

C.2.7.1 电网智能化

背景与需求

随着国家电网规模快速发展，交直流混联大电网运行和控制的复杂性呈现指数递增的趋势，对运行人员的日常操作和处理紧急事故的能力提出了更高的要求。直流换流站的日常运维显得尤为繁琐，运行多年的换流站

已持续存储了海量的历史数据，从中提取出隐藏的模式和规则具有很大研究价值。

基于人工智能技术的解决方案

某机构研发的换流站智能运维系统对换流站存储的海量历史数据以及状态监测、实时数据进行深度挖掘，发现蕴藏在各量测信息、设备动作间的关联关系、知识模式、潜在问题，预测运行工况，预测有可能出现故障的设备。针对关键设备、异常设备及异常的工作状态，指导维护维修工作、提前制定运维策略、采取差异化运维措施。

开源技术选型思路

电网智能化运维场景基于TensorFlow、spark开源平台引入K-means聚类、apriori算法、BP神经网络、LSTM、Faster R-CNN等开源算法，实现智能化精准运维。每个系统都积累了大量历史数据，每个系统的历史数据具有不同的特点，要从这些历史数据中挖掘出有价值的信息，必须针对不同数据采用不同的机器学习算法。针对阀塔及阀冷系统，采用BP神经网络算法，根据相关数据预测某个数据（如膨胀罐液位）；针对告警信号，通过专家知识库结合聚类算法实现告警信号预警；对换流站故障分析报告采用贝叶斯理论实现智能分类；对开关状态进行关联关系挖掘等。

经济效益和社会效益

智能化运维系统部署以后，将节省现场运维人员数量。在预先制定的运维策略指导下，明显减少设备故障次数，增加设备使用寿命。换流站故障减少，有效提高供电可靠性。项目成果的应用不但提高运行人员的管理水平，而且作为电网运维支持系统、决策人员的分析研究工具，为交直流电网运维积累经验。

目前，国内各大企业都在积极探索，许继集团已有该领域的应用案例，国信优易已有基于无人机航拍图像处理的电力铁塔智能化检修的应用场景。

C.2.8 智慧水利

C.2.8.1 智慧灌区

背景与需求

针对现有灌区粗放式管理、水利用系数低、水资源损耗严重、自动化程度低等突出问题，智慧灌区以提高灌区配水调度效率、灌溉水利用系数和灌区水分生产率为目标，利用先进空间观测技术、精准控制技术、节水灌溉技术和水资源优化配置与调度，实现灌区用水的科学化管理，避免水资源浪费，提高水资源的生产率。

基于人工智能技术的解决方案

某机构的研发落地的智慧灌区为例，其基于位置服务的二三维GIS地图构建灌区所有生产要素、生产状态的可视化智能管理。通过灌区渠道流量监测设备、测控一体化闸门、土壤墒情监测等智能设备采集形成灌区运行大数据，采用深度学习、大数据等技术构建区域灌区需水模型、用水优化调度模型、调水评价模型等智慧化模型，实现灌区用水管理数字化、可视化、智能化。

开源技术选型思路

在灌区智能监测方面，采用SVM、K-Means等算法实现对灌区作物生长及其土壤墒情的智能监测与预测；在用水调度方面，基于灌区大数据，利用图论、控制理论、模拟理论等思想方法，通过采用如DNN、RNN、CNN等深度学习算法实现设计水资源调配模型的优化，并通过开源平台MLlib进行模拟验证。

经济效益和社会效益

该智慧灌区可显著提高灌溉水利用系数、水分生产效率和节水潜力，实现灌区用水的科学调配、实时调控，显著提高灌区的经济效益。此外，智慧灌区可显著提高农田水利工作服务水平和灌区的现代化管理水平，实

现灌区水资源可持续利用，推动农业用水方式转变，真正做到公正、公平、合理用水，体现水利服务于民的宗旨。

目前，航天科工二院所属系统仿真技术应用国家工程中心已经实现了多个智慧灌区项目的示范应用，并在区域级水资源智慧监管、跨流域水网智慧调度、区域级天地空一体化应急指挥等方面进行了拓展应用。

C.3 智能社会

《新一代人工智能规划》提出，围绕提高人民生活水平和质量的目标，加快人工智能深度应用，形成无时不有、无处不在的智能化环境，全社会的智能化水平大幅提升。越来越多的简单性、重复性、危险性任务由人工智能完成，个体创造力得到极大发挥，形成更多高质量和高舒适度的就业岗位；精准化智能服务更加丰富多样，人们能够最大限度享受高质量服务和便捷生活；社会治理智能化水平大幅提升，社会运行更加安全高效。

人工智能的引入，有效弥补和提高了公共服务、社会法治、公共安全等领域公共资源的覆盖宽度和深度。以人工智能的机器学习、图像识别、自然语言处理等技术为支撑，建设创新服务平台，协同创新服务体系，提升创新服务能力，从而解决民众广泛关注的教育、医疗、健康养老等实际服务需求，展开对社会法治、城市规划、交通管理、环保等社会复杂系统运行的深度挖掘分析，实现对社会基础设施、公共安全等重要社会公共服务要素的全面互联感知。以智能监控、智能预测和智能预警为能力抓手，积极推进社会治理模式从结果调整向预见型管理的转变，多维度提升社会运行效率与服务水平，增强民众满意度。

本白皮书将分别从智能医疗、智能法庭、智慧城市、智能交通、智能环保、公共安全保障、智能健康与养老、智能教育等领域，通过具体的应用案例，分析阐述基于人工智能技术的解决方案及开源技术选型思路，及其对行业带来的影响。

C.3.1 智能医疗

C.3.1.1 辅助诊断

背景与需求

随着健康中国上升为国家战略，大健康成为越来越重要的新兴高科技产业，将人工智能技术赋能医疗领域，打开了无限的应用空间。然而，医疗人工智能的研究受数据、工具、知识、人才、生态等影响，存在诸多瓶颈，亟需整合的、专业的智能医疗研究平台的支撑。

基于人工智能技术的解决方案

某机构的智能医疗研究云平台，以云模式提供AI工具和数据集，持续构建和积累高质量的样本数据和认知模型，为医生提供辅助医疗与科研服务平台，为医学院等机构提供基于AI与大数据方法论和工具的科研平台，为医疗机构和科研院所提供成果产业化的孵化平台。平台支持来自医学院、医院、政府卫健部门、体检机构等的的数据接入，也支持互联网数据的按需获取。数据按照拥有者私有方式进行原始存储，拥有者可自主选择共享方式。平台工具可将原始数据处理为有标注、高质量、标准化、可计算的数据集，支撑医疗业务智能认知模型的研发。平台提供语义分析、智能模型训练、医疗数据结构化和医疗数据标注等工具集。

开源技术选型思路

该云平台基于云计算和虚拟化技术，能够快速地为算法研究员和数据分析师提供标准化的AI研究需要的基础环境；技术工具涉及自然语言处理、语音识别、图像识别等；AI计算框架的支撑可方便使用CNN、3D CNN、RNN、SVM、GBDT、LR、决策树、聚类、回归分析等深度学习和机器学习算法。通过整合多个开源平台，如Hadoop、Openstack、Kubernetes、Ceph等，提供了分布式存储、计算资源调度及管控等AI计算框架所需的基础设施；通过整合开源AI计算框架，如TensorFlow、Caffe等提供了上述AI算法运行所需基础环境。基于上述基础框架和组件构建的云平

台具有良好扩展性，大幅降低开发成本，缩短开发部署的周期。

经济效益和社会效益

目前该上述云平台已联合8家医疗会员、3家技术会员与多家产业会员，形成了人工智能与大数据技术在医疗健康领域的应用研究与产业化的组织，为智能医疗的研究及成果转化打下了坚实的基础。东软智能医疗研究云平台CareVault已于2017年11月正式开通运行，支撑上述会员单位进行智能医疗相关研究，基于CareVault已承担了10余项科研项目。

C.3.2 智慧法庭

C.3.2.1 智慧法院建设

背景与需求

新信息技术发展趋势下，司法领域如何更好的服务诉讼群众、服务法官办案、服务领导决策，如何有效地解决案例数量的增长与司法资源有限性之间的矛盾，并以此实现法院审判管理的智能化，是新时期司法领域建设的重要目标。

基于人工智能技术的解决方案

某机构推出了基于人工智能技术的庭审过程智能巡查系统、民事法官智能办案系统、智能诉讼辅助平台，辅助智能法院的建设。庭审过程智能巡查系统大力提升庭审视频巡查的识别能力。民事法官智能办案系统通过提供从庭前、庭中到庭后的全流程的要素审判智能化辅助，替代法官机械性重复劳动工作，帮助法官实现民事简案快审、繁案精审，实现提速保质的办案目标。智能诉讼辅助平台挖掘利用海量司法案件资源，提供面向各类诉讼需求的相似案例推送、诉讼风险分析、诉讼结果预判、诉前调解建议等服务。

开源技术选型思路

该机构在视频检测、繁简分流、相似案例推送等模块均采用了开源技术。其中视频检测模块在TensorFlow平台上实现Yolo2目标检测算法，在场景内做针对性的优化，在精度和检测速度上都达到了预期。在相似案例推送模块采用TensorFlow平台和知识图谱技术，使用Word2Vec构建司法领域词向量以及BiLSTM深度神经网络提取案例特征，实现了相似案例的精准推送。

经济效益和社会效益

该应用减轻了审判管理工作中庭审工作检查的负担，还可辅助纪检监察室人员检查法官当庭行为不规范等问题。民事法官智能办案系统，统一了裁判规范，提升个案质效，同时固化了裁判标准，提升整体质效。智能诉讼辅助平台，为公民参与诉讼提供诉讼程序、网上操作等多方面指引帮助，让了解案件办理动态更加便捷。

目前，国内各大企业都在积极探索，如华宇信息推出的庭审智能巡查系统，在青海全省、北京地区、长春中院、内蒙部分地区等多地部署智能巡查系统。

C.3.3 智慧城市

C.3.3.1 城市绿地分析监测

背景与需求

城市规划中植被面积的估算，以及植被数量的安排，是实现城市土地资源合理配置的重要环节。利用遥感图片丰富的空间信息，在对遥感影像进行语义分割的基础上，完成植被面积的精准估计，再结合目标检测方法，可实现对植被面积范围内树木数量上的高效统计。现有的目标检测方法均存在一定缺陷，有的检测精度较高，但检测时耗较长，有的检测速度快，但在小目标检测方面不尽人意。

基于人工智能技术的解决方案

某机构通过无人机航拍影像图片，利用人工智能基于深度学习的图像识别技术，对某市城区绿地面积及植被分布进行分析监测。由于地域差异，不同的地貌、季节所形成的植被特点呈现多样性，针对这些差异，该机构首先对研究区域内植被分布类型和生长周期，以及不同季节内植被高度、树冠覆盖面积、颜色的变化进行调研。利用无人机获取不同季节、不同光照条件、不同分辨率、有无遮挡等情况下植被影像，再对影像逐一标注，建立语义分割数据集。

开源技术选型思路

绿地检测应用中引入了目标检测、语义分割等开源模块，其中涉及Mask RCNN等实例分割深度学习算法。绿地检测应用的技术优越性具体表现在：基于城市复杂场景下区域的精准语义分割，通过多模型融合强化语义理解，有效降低了不同环境因素对模型效果的影响，为绿地准确提取提供的实际保障；支持植被的实例分割，为植被物种分析创造可能性。该应用是基于Caffe的开源软件。

经济效益和社会效益

此类应用可帮助政府部门对区域绿地生态环境的监测需求。持续精准的绿地现状数据和绿地规划数据为绿地科学规划、合理调整提供了可靠的依据，促进绿地建设合理化、提高绿地建设质量。

目前，国信优易等公司已有该领域的应用案例。

C.3.3.2 智慧管网（廊）

背景与需求

随着城市的快速发展，地下管线已成为城市基础设施的重要组成部分，是城市的“血脉”与“神经”。当前我国大多数城市发展建设过程中

普遍“重地上、轻地下”，由于地下管线管理水平不高导致的事故频频出现，停水、停气、停电以及通信中断等事故频发，“马路拉链”现象成为城市建设的痼疾，在一定程度上制约和影响人民群众生产生活的质量。智慧管网（廊）通过示踪标识、无损探测与修复、非开挖、物联网监测和隐患事故预警等先进技术实现城市地下管线的智能化管理。

基于人工智能技术的解决方案

智慧管网（廊）通过在二三维GIS上建立城市管网的可视化管理平台，为管网监测、检修、维护、应急决策及规划提供设计服务，实现对城市管网的智能化管理。以管线故障诊断预警为例，通过研究基于PHM模型的管线故障预警技术，能够在管线故障时做出预测预警和危险管线/危险区域智能辨识。

开源技术选型思路

该类应用可采用基于矢量的管线自动生成算法，结合多种开源二三维GIS引擎实现管线的可视化管理。在故障预测预警方面，基于K-Means、KNN等算法实现管网时空大数据的智能分析；基于故障树、贝叶斯网络算法等对管线的故障进行诊断和预测，并通过开源平台MLlib进行验证优化。

经济效益和社会效益

上述智慧管网建设提高城市宜居性，保障城市安全，提高人民群众的满意度，满足人民对城市美好生活的向往。根据测算，未来5-10年内，根据国家的统一部署，各个城市都将启动地下管网的智能化管理建设工作。

目前，航天科工203所已经在北京、苏州、宁波等十余个国内城市进行智慧管网（廊）落地实施，应用行业有燃气、热力、电网等。

C.3.3.3 智能社区功能服务平台

背景与需求

形形色色的智慧社区不断涌现，形成了众多有自身特色的信息孤岛，归根结底是因为智慧社区建设过程缓慢，面临着顶层设计缺乏，技术和制度保障缺失、居民认可度不高、信息安全水平有待提高等突出问题，阻碍了智能社区建设的步伐。针对目前存在的问题，通过对各类智慧社区的研究与分析，结合多年技术开发经验，实现了智慧社区整体构架开源模式的可行性论证。

基于人工智能技术的解决方案

以机构研发设立的智慧社区开源平台为例，基于开源的需要，开始采用组件化的开发方式，配合数据挖掘、图像识别技术、行业云，实现软件组件间智能生产、智能升级、灵活对接、自动化部署、可视化大数据等顶尖开源模块。社区生活中，图像识别的场景应用广泛，如门禁、迎宾客、访客、安防、黑名单报警、车牌识别等，物业管理方也需要进行人脸考勤巡更比对，对上门服务的人员进行甄别确认等。

开源技术选型思路

该方案在图像识别与机器学习算法中，采用和参考了开源技术方案，基于CNN卷积神经网络进行图像识别，在精确提取图像特征的同时降低模型复杂度。该方案基于开源TensorFlow构建。

经济效益和社会效益

该开源平台对智慧社区的建设提供了综合类型的功能服务平台，提升了资源的利用率，降低在智慧社区乃至智慧城市系统规划的成本投入及时间投入，实现了服务资源的统一协同化。同时，智慧社区更是多种智慧服务（教育、医疗、交通、健康等）的最终落地平台，能改好的推动整体政务智慧化发展。

2018年上半年，沿海某城市率先完成了以智慧社区为主体的智慧城市系统升级，青杏科技有限公司和诺诚质达科技有限公司统筹规划并参与了系统开发及部署，在智慧社区开源化的发展上已经迈出了第一步。

C.3.4 智能交通

C.3.4.1 交通视频智能分析

背景与需求

利用摄像头监测交通路况和车辆信息，是实现智能交通的重要环节。根据监控场景和需要识别的内容，目前感知型摄像机主要分为三大类：特征分析摄像机适用于视野范围较大的场景，可识别人和车的基本特征；车辆卡口摄像机专门针对车，可准确识别车辆特征信息；人员卡口摄像机专门针对人，可准确抓拍人脸和识别人员特征信息。目前，交通智能检测难点在于模型规模及如何在嵌入式环境下实时分析交通视频。

基于人工智能技术的解决方案

交通视频智能分析涉及到人工智能的视频分析与边缘计算技术，包括目标检测和模型压缩两方面内容。由于监控设备的搭载的硬件计算能力有限，而用于目标检测的深度学习模型通常呈现体积大、计算运行时间长等缺陷，使得嵌入式设备市场对模型压缩具有强烈的需求。

为了解决移动端功耗和容量限制，同时保证深度学习模型的精度，选用模型压缩的通用方法中轻量化模型构建最易到达实际需求。针对这种情况，某机构在进行交通视频技术分析时，选择MobileNet V2和Shufflenet与SSD结合，实现小模型实时目标检测的目的。

开源技术选型思路

此类应用场景可引进以下开源的模块：目标检测、模型压缩的MobileNet-SSD, ShuffleNet-SSD算法，并将几者相结合以达到实际需求。目前，Google、旷视科技等多家公司所提出的模型压缩算法配合实时目标检

测方案已逐步在嵌入式平台推广，在降低深度学习算法对硬件要求的同时，大幅推进深度学习在实际场景中的落地。该应用是基于Caffe的开源软件。

经济效益和社会效益

交通视频智能分析可帮助政府部门对交通状况及车辆监测的实时性、准确性、高效性和可靠性需求，实现动态感知和实时监测的信息获取，充分推动交通管理的主动预警和快速响应的安全保障，有效解决城市交通拥堵和全面提高交通安全水平。

得益于开源技术的普及，很多以大数据、人工智能技术起步的新兴公司，以视频监测分析为切入点加入，如国信优易等企业已有该领域的应用案例。

C.3.5 智能环保

C.3.5.1 遥感图像智能分析

背景与需求

随着遥感技术的不断进步，在高分辨率影像上，地物的光谱特征更加丰富，同类地物内的光谱差异增大，类间的光谱差异减少，同物异谱及同谱异物现象更加普遍。影像中大量细节的出现和地物光谱特征的复杂化导致了基于光谱统计特征进行分类的传统方法如极大似然法、最小距离法、K-均值聚类法等分类准确性的降低，而机器学习算法如神经网络、支持向量机等浅层学习算法，很难有效地表达复杂函数，随着样本数量的增大以及样本多样性增强，浅层模型不能适应复杂的样本。

基于人工智能技术的解决方案

语义分割作为深度学习在图像分类中的重要技术，是AI领域中一个重要的分支。某机构在进行遥感图像分类时，采用了语义分割算法，先设定不同的分块尺寸大小，分别对遥感图像进行分块处理，这样每个尺寸就得

到一个对应的区块集合。对于每个区块集合中的每个图片，采用DeepLab v3方法进行语义分割，分割完成后，对每个区块集合按照原先分块顺序进行拼接，得到每个尺寸的语义分割结果，并在此基础上加入条件随机场得到最终分割结果。

开源技术选型思路

采用了Caffe开源的DeepLab v3语义分割方法，相对于原有语义分割网络结构，该方法能够挖掘不同尺度的卷积特征、编码全局内容信息的图像层特征，明显提升分割效果。在该方法提出的ASPP模块中，采用带孔卷积(atrous convolution)来替代池化结构，通过不同带孔卷积结构的并行，可有效利用图像的多尺度信息。

经济效益和社会效益

可实现遥感图像自动化分类标注，大大减少了遥感图像分析的工作量，并以其快速、准确、准时、周期短等优点在大中尺度的土地利用动态监测中具有明显的优势，在国内外得到了广泛应用。

近些年来，遥感图像应用领域进一步扩大，如利用卫星监测的区域遥感图像历史变化，对该区域的制造业发展进行监测分析，目前国信优易等企业已有该领域的应用案例。

C.3.6 公共安全保障

C.3.6.1 安防人脸识别分析

背景与需求

公安执法面临权威性与有效性的双重挑战，现实中一旦曝光警察暴力执法、封闭执法、无法做到无死角执法，舆论会质疑和批评警察权力被滥用。当公众的人身安全陷入困境、公共秩序出现混乱，舆论又会指责警察失职渎职。传统执法记录仪只能记录现场的音视频，经常关键时候缺失证据，不能做到无死角全景视频的采集保留和智能分析，无法有效辅助解决

执法后期存在的争议问题。

基于人工智能技术的解决方案

某机构密切联系公安实战应用需求，通过运用最新720度全景高清监控技术、4G/5G网络、GPS/GIS技术、智能分析技术、业务系统集成技术、物联网、移动互联网、人脸识别、车辆识别、人工智能技术等先进安防技术，最大程度实现现有平安城市监控应用系统的技术升级、应用升级和功能升级。提高执法效率，确保执法现场的720°、全过程、无死角实时记录，通过设备自带VR功能，可快速还原案发现场，加快案件快速研判。实现从单一使用执法模式向全景化、高清化、智能化的转变，提高可视化管理水平。

开源技术选型思路

上述的产品核心的关键芯片和软件算法采用基于自主研发及TensorFlow结合的开源平台，图像识别使用了DNN、SVM、决策树算法，并采用深度学习的目标检测开源技术，优势互补，使得技术和算法不断完善，主要优势在于通过上述开源平台和算法实现深度学习后的图像的识别后，对图像进行视频拼接+视频纠正+视频解码，从而直接输出720度全景的高清环影视频，显著增加视频图像的应用效率。

经济效益和社会效益

通过使用全景技术与人脸识别、车辆识别、人工智能技术等先进安防技术，最大程度实现现有平安城市监控应用系统的技术升级、应用升级和功能升级。

目前，国内各大企业都在积极探索，包括天津天大康博、北京星云环影科技等企业已有该领域的应用案例。除了安防领域，在金融领域也有大量的需求。目前，微众银行、腾讯财付通、蚂蚁金服等以互联网为主要拓客渠道的金融机构均使用了远程身份认证技术。

C.3.6.2 食品安全智能视频巡查

背景与需求

当前，全国各地在餐饮行业大力推广明厨亮灶建设工作，成果较为显著。然而，面向餐饮企业视频巡查工作中的公众监督、政府监管和企业自查部分，还未形成有效应用。主要难点在于：工作量大，海量视频源使得无法单靠人眼去监控所有视频，只能抽查，不能全覆盖；效率低，人工很难保证24小时准确高效监控；人工回放取证效率低下，业务要求高，要求监管人员熟悉业务，人工判断所有违规场景，人工检查标准不能保证客观统一。

基于人工智能技术的解决方案

某机构推出的智能视频巡查工作站，是一款基于视频处理、图像处理、图像识别等相关人工智能技术的视频识别产品。该产品采用高性能GPU处理器，将明厨亮灶的实时视频与餐饮业食品安全规范紧密结合，为餐饮服务单位和食品生产企业监管部门提供一系列自动化的、智能化的违规行为线索识别、预警和处置，并与监管系统对接，实现监管应用。

开源技术选型思路

在智能视频巡查工作站中使用开源软件的模块是违规行为识别模块。该机构使用开源平台TensorFlow实现yolo2目标检测算法，快速构建违规行为识别模型，实现实时检测监控视频和及时发现违规行为。

经济效益和社会效益

机器替代人工巡查，监管效率提高至少50倍以上。通过规范操作流程，强化企业自律行为、拓展“互联网+明厨亮灶”的深度应用、创造食品安全和市场监管精细化监管新模式、消除部门、餐饮服务单位与公众间信息不对称的障碍实现风险预警，提升餐饮服务企业的食品安全保障水平。

目前，国内包括华宇金信等企业已有针对食品安全监督的智能视频巡检工作站类产品落地实践案例。

C.3.6.3 智慧刑侦辅助决策

背景与需求

在公安日常工作中，可能会存在诸多问题：案件信息繁冗，数据量大且结构多样化，格式不统一，内容不规范，不易进行阅读分析；海量的案件数据分析主要依靠手动查阅和人工分析，因为时间和人力的限制无法逐个阅读获悉案件，因此大量的线索信息无法检索使用；每个案件的信息相对孤立，缺乏大数据挖掘和支撑，导致许多串并案难以被处理，大量的惯犯难以被科学管理，更多的隐藏数据信息被埋没法挖掘。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构为例，其对公安非结构化数据进行处理，智能提取记录案件文本如“简要案情”、“回访记录”、“现勘记录”、“询问、询问笔录”等中的线索和要素，对于多维度、多粒度的案件线索进行分析比对，实现非结构化警务数据的智能分析，找到各案件之间的关系、人员之间的关系、案件及人员时空之间的关系等，为情报部门、侦查部门提供案件侦破、类案分析、确定嫌疑人等工作提供辅助，有效降低警力人工支出，保障案件研判基础，从而有效辅助打击犯罪、提升破案效率。可广泛应用于刑侦、经侦、缉毒、治安等不同警种。

开源技术选型思路

开源大数据架构主要采用Hadoop以及图数据NEO4J，在NLP算法模块方面，词性标注主要采用深度学习模型BiLSTM+CRF，此算法主要建立在开源框架TensorFlow基础上。关系挖掘主要采用基于深度学习模型BiGRU+2ATT，此算法主要建立在开源框架thunlp和TensorFlow底层平台

之上，并针对人名位置变化以及文本长度的变化所引起的关系改变做了相应改动，使得算法识别效果有一定提升。

经济效益和社会效益

该应用可以最大限度打通警务平台中数据孤岛的壁垒，实现警务数据的整合应用，实现多层次、多维度、多视角的警务数据对比分析，在侦防领域中的应用前景广泛，可以覆盖刑侦、经侦、出入境、缉毒等多个警种，甚至可以覆盖公安，银行，监狱，军队等领域。该应用大大节约警力，提高办案效率。

各地均探索和落地与上述相似的应用，目前武汉烽火普天信息技术有限公司智慧刑侦决策辅助平台已经在江苏宿迁公安实践上线。

C.3.6.4 智慧交通气象服务平台

背景与需求

随着社会和国民经济的快速发展，人们对精细化天气预报的需求越来越迫切，气象灾害频发、短临预报不准确、时间和空间上不精细，无法切实满足公众对气象的精细化需求是当前气象服务主要面临的问题。

基于人工智能技术的解决方案

人工智能技术的出现，给气象行业带来了巨大的技术变革，AI技术在复杂系统的因子分析、模型推演等方面具有非凡优势。配合大数据挖掘、图像识别技术可以有效提升预报时效性、准确性，使气象服务变得更人性化、精细化。利用交通部门在道路上部署的监控摄像头进行图像识别处理，结合摄像头所在位置或邻近位置的预报及实况数据进行分析处理，对气象灾害做出有效预报，同时利用图像识别技术可对能见度、空气污染等进行计算，辅助交通管理部门进行决策。

开源技术选型思路

在图像识别及气象因子匹配模块中，均采用了开源技术方案。其中，图像识别采用Caffe与OpenCV的技术框架进行架构，主要针对视频、图片等分析样本，训练神经网络模型，从视频中图区视频帧，获取图像样本。根据图像特征匹配气象因子特征来反向分析气象结果，主要是基于Caffe框架的深度学习为基础，在改进的神经网络下能够更高更快的训练出合适的模型参数，同时结合气象部门各观测场摄像头资源结合雷达、自动站等资料后可以对天气现象、能见度、空气质量等观测服务数据进行预测，利用Caffe的深度学习框架对图像进行识别并结合机器算法研判天气现象、能见度等，对基本反射率（R）拼图的雷达回波数据进行机器学习，实现了短临降水预报的服务。预报本身利用SWIPE预警报模型，通过GFS预报场和GPM降水估计、强对流个例集形成测试数据和训练数据集，主要用到的算法有朴素贝叶斯算法、逻辑回归算法、随机森林算法。

经济效益和社会效益

该应用通过AI技术对气象部门数据资源进行深度挖掘和再加工处理，将现有观测资料的二次挖掘与融合处理，使原有投资发挥更大效益。目前，北京华风创新网络的智慧交通气象服务平台已经在交通行业进行项目落地。

C.3.7 智能健康与养老

C.3.7.1 情感陪护机器人

背景与需求

随着中国人群日益明显的老年化趋势，越来越多的老年人需要情感陪护以减少心理寂寞感，提高生活质量。近年来，智能问答技术的发展使得情感陪护机器人成为现实。国内市场出现了很多富有创意的情感陪护机器人，可实现智能交互和推荐，从而使情感陪护成为可能。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构的情感陪护机器人为例，此类应用可采用的开源技术方案包括：自我意识仿真：通过知识驱动的增强现实、全时感知、认知智能和跨媒体推理机制构建虚拟生命引擎；自我认知知识图谱构建：构建以“自我”为核心主题的高密度高质量知识图谱，融合多源异构数据，构建多类别、动态、个性化的海量知识图谱，建立通用事实知识图谱，常识知识图谱、实用性知识图谱，用户知识图谱等多样化知识图谱；基于深度学习的问答系统构建：基于海量知识图谱，通过深度学习，将问答问题转成机器可以理解的语言，学习用户画像，达到个性化回答，学习当前语境中表示，辅助做多轮对话。

开源技术选型思路

此类应用在知识库、知识存储、精准回答、语义理解和多轮对话中均采用了开源技术方案。其中，开源知识库采用的是国内首个中文开放百科知识图谱-zhishi.me用于精准问答。知识存储采用的是开源图数据库Neo4j和Jena。在多轮对话中，采用CRF+LSTM架构进行槽位提取，并参考通用百科知识图谱和自建领域图谱进行答案排序和确认。语义理解中采用了CRF+BiLSTM架构进行分词和词性标注。答案排序中用到了Word2Vec开源算法，以及基于句向量采用开源算法Fasttext进行相似度判断。

经济效益和社会效益

此类应用可为老年人群情感陪护和娱乐闲聊等应用场景服务，有着广泛的市场前景，并与可爱的实体外形或智能穿戴设备相结合，创造了价值可观的经济收益。

目前，深圳狗尾草智能科技有限公司和上海瓦歌智能科技有限公司已推出基于知识图谱的情感陪护机器人。

C.3.8 智能教育

C.3.8.1 教学质量智慧诊断

背景与需求

改进高校教育质量是推进科技创新、构建高层次人才、提升国家综合实力的关键基础。近年来，我国不断探索新兴的教育模式，从加深理论研究到增强实践能力都做了很多方法和模式的尝试。而新一代人工智能技术带来的重大变革作用，已经在诸多行业有了广泛的应用。因此，将人工智能技术应用于教育教学质量的诊断，从而客观分析教学中存在的问题，并即时改进教学方法和模式，对于提升教学质量具有重要意义。

基于人工智能技术的解决方案

某机构研发的智慧教学质量诊断系统主要包含数据采集模块、学生学习质量预测模块和教学改进建议模块。数据采集模块支持一个课程全方位的数据收集包括教师评价、课程评价、学生出勤情况、学生参与度、课堂演讲情况和作业分数等级等。学习质量预测模块预测学生未来作业的分数等级从而评估其学习质量。教学改进建议模块即通过调整预测模型的参数判断学生的学习质量是否会发生变化。

开源技术选型思路

选用了开源底层平台sklearn。算法选用了随机森林分类器、层次聚类算法、贝叶斯网络等，解决了影响教学质量的各因素之间的相关关系问题以及从相关关系得到学习质量的预测问题，在学习质量预测模块和教学改进模块有所应用。

经济效益和社会效益

上述应用初步优化了学生学习质量和教师教学质量评估的过程，更加客观地评价了教师教学质量存在的问题，解释了教师如何提升教学质量、改进教学模式和方法可以有效增进学生的学习质量。从而为我国高校教育

教学模式的改进提供了参考。

目前，同济大学在上述场景已开展探索研究。

C.4 智能基础设施

《新一代人工智能发展规划》提出，大力推动智能化信息基础设施建设，提升传统基础设施的智能化水平，形成适应智能经济、智能社会和国防建设需要的基础设施体系。加快推动以信息传输为核心的数字化、网络化信息基础设施，向集融合感知、传输、存储、计算、处理于一体的智能化信息基础设施转变。

在IT基础架构、高性能计算基础设施、大数据基础设施等领域，人工智能得到广泛应用。人工智能技术的使用重塑了IT基础架构，提升了运维效率，节省了企业成本，产生了巨大的经济效益。通过从海量数据中抽取和构建大规模的高质量知识图谱，提供知识可视化展示、语义搜索、智能问答等基础服务，进而在企业大数据集成与科技情报分析和挖掘中开展了大量的应用。此外，人工智能技术的推广和应用需要高性能的计算平台支撑，高性能计算机平台使得机器学习和深度学习进行超越算法和框架的优化。

本白皮书将分别从IT基础架构、高性能计算基础设施和大数据基础设施三大领域，通过具体的应用案例，分析阐述基于人工智能技术的解决方案及开源技术选型思路，及其对行业带来的影响。

C.4.1 智能化基础设施

C.4.1.1 AI技术重塑IT基础架构

背景与需求

信息社会中IT系统成为企业最重要基础设施之一。随着大数据、云计算、物联网、人工智能的发展和应用，传统IT基础架构面临效率、时间、成本等方面的挑战。主要表现在硬件资源难以高效使用、研发及运维成本高、资金成本高、系统灵活性差等方面。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构为例，其率先使用AI技术重塑IT基础架构，采取的解决方案包含以下方面：智能调度，通过深度学习技术对应用系统的资源使用情况进行描述和预测，智能化的动态部署和调度，且对业务系统完全透明；混合部署，可以在同一个容器云集群上部署离线计算与分析、定时批量处理和实时流式计算等不同类型的大数据应用，能够将集群资源池化，将不同类型的应用自动混合部署到整个集群，不受单个服务器边界限制；弹性扩容，不仅实现了业务系统的弹性扩容，还解决了数据中心级别的扩展性问题；智能运维，日志采集、搜索分析、秒级监控、运维预测和分析、异常处理、可视化、深度学习为一体的智能运维工具包。

开源技术选型思路

目前，此类应用场景可引进以下开源的模块：文本匹配、文本分类，还可以使用RNN、LSTM等深度学习算法、LR分类算法、M5P算法、离群点深度分析技术、GBTree集成学习算法等。自主研发的数据库产品作为数据存储引擎、结合市场上成熟的数据处理、计算框架、消息通讯管理和深度学习平台等开源软件，如TensorFlow、JDOS、JMQ、CFS等开源软件的使用，提升了此类应用的开发效率，降低了开发成本。

经济效益和社会效益

重塑后的IT基础架构能够帮助传统IT企业提升运维效率，业务系统实现弹性扩容，节省成本。技术平台的大规模推广使用，将会给社会创造巨大的经济价值。

目前，国内各大企业都在积极探索AI技术在基础架构上的应用，包括京东（阿基米德技术平台）、微众银行等企业已有该领域的应用案例。

C.4.2 高性能计算基础设施

C.4.2.1 高性能计算服务平台

背景与需求

随着高性能计算（High Performance Computing, HPC）进入商业应用领域，高性能计算服务器开始从定制到商品化，从私有到开放。HPC的应用软件要求屏蔽底层硬件设备差异，建立一个功能全面、算法和数据丰富的开源开放的应用开发平台。此类应用平台需要拥有开放架构，能够解决和隐藏各类人工智能芯片和硬件的兼容性问题，并且与行业应用和数据深度结合。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构的高性能计算人工智能开源软件平台为例。针对HPC系统的GPU、FPGA、TPU和人工智能芯片分别拥有各自的软件工具集采用不同的商业推广模式的现状，该平台包括基于CPU、GPU、FPGA等多种深度学习硬件和海量数据存储的智能管理系统、海量数据智能分析处理系统、大规模数据自动采集分类系统、数据挖掘系统、训练算法库和样本库、集成标准人工智能训练库、多种深度学习框架集成、软件开发服务、在线应用服务等。这样的开发平台能够极大程度降低应用开发者技术门槛，提高开发效率，同时，可以帮助应用开发者将开发训练好的算法模型更快地上线应用，更快地实现经济价值。

开源技术选型思路

此类应用可包含一个支持GPU、FPGA、神经网络芯片等多种人工智能硬件，适应不同应用软件对运算单元的多样化依赖，集成高性能系统高速存储、并行文件系统、集群管理系统等HPC专有应用的通用平台，为开发者和用户提供更易用的人工智能生态环境。

经济效益和社会效益

高性能计算是人工智能发展的动力引擎，建立软硬件一体化高性能计算应用平台可以为海量人工智能应用创新提供数据和技术支撑，满足人工智能新应用开发的需求，进而推动人工智能产业与科研的发展，实现企业应用快速成长。

目前，国内各大企业都在积极探索，包括中科曙光等企业已有该领域的应用案例。

C.4.3 大数据基础设施

C.4.3.1 知识服务平台

背景与需求

人工智能的很多应用场景都需要大规模、高质量知识的支持，例如智能问答、高考解题、医疗诊断等。近年来，知识图谱和互联网大数据为构建高质量的知识库提供了技术和数据支持，形成了各种知识服务平台，大量智能应用借助这类知识服务平台，为搜索、问答、医疗、情报、金融和大数据集成等各个行业提供了精准的知识服务，创造了巨大的商业价值。

基于人工智能技术的解决方案

以某机构的中文知识服务平台为例，其中的开源技术解决方案包括5个部分：数据获取：采用大规模并行爬取开源技术，抓取高质量的中文百科页面；数据结构化：采用正则表达技术将文本数据中的数据结构化；知识库构建：采用开源机器学习算法对知识进行扩展和补充，并将整个知识库以RDF三元组的形式表示，该知识库也实体为主，是典型的中文知识图谱；知识库存储：采用RDF存储技术，并以图数据库作为存储媒介存储知识库；问答服务：在知识库基础上生成句法树，并自动生成拓扑结构，辅以子图遍历技术，进行谓词模式映射从而提供对知识图谱问答服务。

开源技术选型思路

此类应用在知识获取、知识库构建和知识存储中均采用了开源技术方案。其中，知识获取中采用Python实现并行爬虫自动获取开源的维基百科、百度百科和互动百科数据；知识库构建中采用开源知识表示学习技术TransE补全知识，并用RDF三元组表示知识；在知识存储中采用开源的Neo4j图数据库存储大规模知识。开源技术的引入提升了开发效率。

经济效益和社会效益

此类知识服务平台为各行业提供了高质量的中文百科知识库，是对知识图谱在中文领域的重要补充。基于知识服务平台，可为各行业提供全访问的精准问答、语义搜索、知识可视化、情报分析等应用，产生了较高的经济和社会效益。

目前，国内各大机构和企业都在积极探索知识服务平台，包括东南大学、百度、阿里等高校和企业已有该领域的应用案例。

C.4.3.2 智能情报服务

背景与需求

大数据时代的到来为情报分析提供了数据和计算支持，其中蕴含着大量的高价值情报，然而目前大数据缺乏语义标注信息，深层次语义分析和挖掘是国际公认的技术难题。此外，互联网环境下的各行业信息资源具有规模大、分布及异构等特点，通用互联网搜索服务技术在科技信息方面的处理能力有限，亟待探究新的技术途径，以推动智能情报服务的产业发展。

基于人工智能技术的解决方案

以某家机构的科技情报服务应用为例，其开源技术包括4个方面：高质量语义内容生成技术：在大规模异构网络资源中语义获取难题上取得了重大突破，提出多维依赖关系的语义标注方法和基于动态策略选择的语义

集成框架，建立了亿级节点规模的科技知识图谱；面向异构科技情报网络的深度挖掘方法：提出双标签概率因子图模型，利用多个目标属性之间的关联关系建立统一模型从而提高识别精度，提出基于话题的科技网络影响力度量模型；语义搜索和智能服务技术：针对知识网络中异构对象排序难的问题，提出异构的PageRank方法，实现了异构对象全局权威度的高效计算；科技情报大数据挖掘与服务平台技术：建立了具有完全自主知识产权的新一代科技情报分析与挖掘系统平台。

开源技术选型思路

此类应用在系统架构、数据存储、情报搜索服务等方面均采用了开源技术。其中，Nginx作为Web服务器，MongoDB作为数据存储，Elastic-search作为搜索引擎，SSDB作为缓存服务器，React作为前端语言框架。这些开源技术的引入，有效降低了系统开发成本。

经济效益和社会效益

此类应用可帮助情报分析获得大量高价值情报服务，具有巨大的经济效益和社会效益。

目前，国内各大机构都在智能情报服务领域开展积极探索，清华大学已有该领域的应用案例，已为超过1000万的国内外用户提供广泛的科技信息服务，核心技术应用于20余家大型企业。

C.4.3.3 智能大数据集成服务

背景与需求

目前，在政务、制造、生产和国防等领域的信息系统中积累了大量遗留数据，其数据的规模较大，维护方式独立，数据格式异构，是典型的分布式异构大数据。同时，大量新业务需要建立在这些分布式异构大数据之上，以有效利用现有数据解决跨数据的应用。然而，重新建立一套统一的信息系

统对传统系统进行替代通常不现实，采用传统中间件技术来满足各种业务需求也不灵活，因为不同业务都需要重新设计和实现对应的中间件。

基于人工智能技术的解决方案

以某家机构所采用的智能大数据集成系统为例，其提供一套基于知识图谱的分布式异构大数据集成方案，包括6部分：知识图谱构建：提供基于结构化和半结构化数据的知识抽取，并利用多模态分析技术，建立数据间的时空关联；知识融合：提供高效大规模实例匹配技术，解决大规模知识图谱实例层融合；知识更新：针对频繁更新的数据，提供了一种增量的知识图谱更新方式；知识推理：在模型层提供了基于描述逻辑的推理功能，解决模型层的冲突。提供了基于规则的实例推理功能，解决知识图谱的实例层，并丰富知识链接；知识存储：提供一种基于大数据平台的知识存储方案，将知识图谱的模型层和实例层进行合理存储，并对存储结构进行优化，实现对知识的高效访问和查询；应用：针对各种异构大数据集成业务，提供精确语义搜索、智能问答、关联分析等应用。

开源技术选型思路

此类应用在知识表示、知识抽取、知识访问、知识建模、知识融合、知识推理和知识存储等方面均采用了开源技术方案。其中，开源的RDFS和R2RML实现知识表示和知识抽取；Jena实现知识图谱解析和访问；Protégé实现知识建模；在知识融合中采用开源系统Lily实现本体匹配和实例匹配；在知识推理中采用开源推理机FaCT实现模型层的推理；在知识存储和高效访问中采用Neo4j, Spark, Hadoop, Hbase等开源图数据库和大数据架构。

经济效益和社会效益

此类应用可帮助政务、国防、情报等多个领域以较少的成本投入，在不修改传统数据源的基础上，实现了对异构大数据的集成。目前，国内各大机构和企业都在积极探索智能大数据集成，包括东南大学等机构已有该领域的应用案例。

参考文献

- [1] 尹宏鹏,陈波,柴毅,刘兆栋.基于视觉的目标检测与跟踪综述[J].自动化学报,2016,42(10):1466-1489.
- [2] Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, and Jeffrey Dean. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. In Proceedings of Workshop at ICLR, 2013.
- [3] 江腾蛟,万常选,刘德喜,刘喜平,廖国琼.基于语义分析的评价对象-情感词对抽取[J].计算机学报,2017,40(03):617-633.
- [4] 刘全,翟建伟,章宗长,钟珊,周倩,章鹏,徐进.深度强化学习综述[J].计算机学报,2018,41(1):1-27.
- [5] 戴国强.开源开放是构建我国人工智能创新生态的必然选择[J].中国科技财富,2017,(3):46-47.
- [6] 周飞燕,林金鹏,董军.卷积神经网络研究综述[J].计算机学报,2017,40(6):1229-1251.
- [7] Baidu. PaddlePaddle易学易用的分布式深度学习平台. <http://www.paddlepaddle.org/>
- [8] Simon J.D.Prince.计算机视觉[M].机械工业出版社.2017,6,29.
- [9] Marr D (1982), Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information, W. H. Freeman and Company.
- [10] Yamins D. L. K. & DiCarlo J.J (2016a), Using goal-driven deep learning models to understand sensory cortex, Nature Neuroscience, Perspective, Vol. 19, No.3, pp.356-365.
- [11] Yamins D. L. K et al. (2014), Performance-optimized hierarchical models predict neural responses in higher visual cortex, PNAS, Vol.111, No.23, pp.8619-8624.

- [12] Hartley R, Zisserman A. (2000), *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press.
- [13] Faugeras O (1993), *Three-Dimensional Computer Vision: A geometric Viewpoint*, MIT Press.
- [14] LeCun Y et al. (2015), *Deep Learning*, *Nature*, Vol.521, pp.436-444.
- [15] 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知.http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm
- [16] 樊邦奎,张瑞雨.无人机系统与人工智能[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(11):1523-1529.
- [17] 贾玉龙.无人驾驶汽车的起源与发展[J].信息记录材料,2018,19(04):106-107.
- [18] 胡范铸.理论与现象:当代修辞学研究的五十个问题(下)[J].当代修辞学.2016(03).
- [19] 徐增林,盛泳潘,贺丽荣,王雅芳.知识图谱技术综述[J].电子科技大学学报,2016,45(04):589-606.
- [20] 漆桂林,高桓,吴天星.知识图谱研究进展[J].情报工程,2017,3(01):4-25.
- [21] 张凤军,戴国忠,彭晓兰.虚拟现实的人机交互综述[J].中国科学:信息科学,2016,46(12):1711-1736.
- [22] Azuma R.Survey of augmented reality[J].Teleoperators and Virtual Environments, 1997,6(4):355385.
- [23] 赵亚洲.智能+:AR、VR、AI、IW正在颠覆每个行业的新商业浪潮[M].北京联合出版公司.2017,3.
- [24] 周忠,周颐,肖江剑.虚拟现实增强技术综述[J].中国科学:信息科学,2015,45(02):157-180.
- [25] Luo J, Yang M, Ling Z, et al. Architecture and Key technologies of cyberspace security. *SCIENTIA Informationis*, 2016,46(8):939-968(in Chinese)

中国人工智能开源软件发展联盟 秘书处

通信地址：北京市东城区安定门东大街1号
中国电子技术标准化研究院（100007）

联系人：于泉杰 张臻 张明英

联系电话：010-64102848 010-64102849

联系邮箱：aiooss@cesi.cn

