



研究与开发

基于网络演进的人工智能技术方向研究

杨震, 赵建军, 黄勇军, 李洁, 陈楠
(天翼物联科技有限公司, 上海 200122)

摘要: 国家战略把人工智能(AI)及物联网(IoT)/5G同时定位为信息基础设施的重要组成部分,其中人工智能属于新技术基础设施,IoT/5G属于通信网络基础设施。这引出了“通信技术与人工智能技术融合发展”的技术方向。对于电信运营商而言,如何将人工智能技术与网络融合,重构网络技术架构,将“AI能力”作为“服务”开放,将是重要的技术演进方向。基于这一命题,探讨了未来AI和网络技术的发展方向,为未来AI技术与IoT/5G网络架构的融合发展方向提供了参考思路。

关键词: 人工智能; 物联网; 5G; 智能内生; 算网融合

中图分类号: TN929.5, TP18

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022298

Study on the direction of artificial intelligence technology based on network evolution

YANG Zhen, ZHAO Jianjun, HUANG Yongjun, LI Jie, CHEN Nan
E-Surfing Internet of Things Technology Co., Ltd., Shanghai 200122, China

Abstract: The national strategy positions artificial intelligence (AI) and Internet of things (IoT)/5G as important components of information technology facilities at the same time. Among them, AI belongs to new technology infrastructure, and IoT/5G belongs to communication network infrastructure. It leads to the technical direction of “integrate and develop communication and AI technology”. For telecom operators, how to integrate AI technology with the network, reconstruct network technology architecture, and open “AI ability” as a “service” will be an important technology evolution direction. Based on this proposition, the development direction of AI and network technology in the future was discussed, and a reference idea for the integration development and application direction of AI technology with the network architecture of IoT/5G in the future was provided.

Key words: AI, Internet of things, 5G, intelligent-endogenesis, computing and network integration

0 引言

国家战略把人工智能(AI)及物联网(IoT)/5G同时定位为信息基础设施的重要组成部分,人

工智能已经进入与实体经济深度融合的阶段,但各行业如何在原有的技术、产品体系中引入AI技术是摆在人们面前的问题。另外,在网络技术进入5G时代后,以服务企业用户为主要需求的网



络演进,需要引入更多的技术驱动因素;而 AI 技术不论从服务对象,还是对数据、模型、算力连接的需求,都将在技术路径上与网络技术进行深度交叉融合。物联网是实现“人与物”“物与物”的泛在连接和数字化信息处理、“人、机、物”终端感知与交互,为行业/企业用户提供“融合 AI 与网络技术新型连接”的核心载体。因此面向行业/企业 AI 应用/赋能的“物联网新型连接”技术研发需求,为网络技术的发展提供了重要的需求输入,可以说下一代网络技术的演进方向是通过物联网连接,将 AI 能力嵌入企业的各类应用中,降低企业获得相关 AI 能力的成本及复杂度,实现 AI 能力的“物联网原生”^[1-3]。

本文首先从 AI 与网络融合的角度,进行了“基于 AI 的网络”和“基于网络的 AI”两个技术观点的辨析;然后从基于网络的 AI、连接+AI 的角度,分析了未来 AI 与网络各自需要关注的研究方向,并简要探讨了相关技术的发展阶段。

1 人工智能能力网络原生

1.1 人工智能技术演进与网络技术演进的关系

虽然目前 AI 技术在某些特定领域(如机器视觉在安防领域)的应用取得了很好的效果,但是 AI 技术在行业赋能、规模化应用方面还有很大欠缺,究其原因,主要有以下几个方面。

(1) 数据共享。AI 模型训练需要大量的数据,并且数据需要根据应用场景进行相应的特征提取,而数据的所有权基本属于应用企业,而非 AI 能力提供企业,因此目前单独项目式开展的方式无法形成规模复制效应;行业企业用户也没有能力组织 AI 队伍,自己完成相应的工作。

(2) 能力的标准化。对 AI 生成及对外服务流程的标准化,尤其是对 AI 应用效果的评价标准化工作还比较欠缺,企业用户无法评价、了解目前所采用的 AI 模型是否是业界应该达到的水平,还有改进的余地,为提升效果还需要提供什么样的

支持和资源投入。

(3) 安全、可信、可解释。包括企业用户是否能信任目前的 AI 结果,所采用的 AI 能力是否符合监管要求等。

通信技术是极其严格、标准化的技术,通过各类通信协议及相关建设服务标准的制定,可以为规模化 AI 应用提供很好的技术保障,解决 AI 应用中的各类问题。随着 IoT/5G 技术的发展,目前传递信息的技术水平已经超出了业界的真实需求。通信行业的根本目标是为信息的获得者提供决策服务,将传递信息作为主要的技术演进方向,在网络建设中引入 AI 技术思想及能力,是下一代网络技术研究的关键之一。从更广泛的视角来看,吸纳 AI 技术对企业决策的支持能力,在信息传递的基础上实现信息连接,进一步基于云/端/边的算力,利用 AI 技术实现计算、决策支持能力的一体化通信服务架构,将是未来网络技术发展及建设的重要方向。未来“人工智能”与“网络”融合存在两大方向:基于人工智能的网络(AI for NET, AI4NET)和基于网络的人工智能 AI(NET for AI, NET4AI)^[4-17]。

1.2 基于人工智能的网络

AI4NET 是指在网络建设、运行、服务、产品、维护中引入 AI 技术,如在网络运营中使网络的各项功能更加智能、效率更高,其核心思想是 AI 服务于网络设计、建设、运维。文献[8]从运营商无线接入网、核心网、传输网、终端到大部分产品服务,引入 AI 技术的详细分析,如网络流量分类、网络流量预测、网络优化、基站的无线资源管理、服务要求保证、网络故障识别与预测、核心网用户策略管理和移动性管理、承载网路由调度等;在网络管理领域,从 2018 年 3GPP 定义的管理数据分析功能(management data analytic function, MDAF)、欧洲电信标准组织(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)成立经验式网络智能工作组(Experiential Network

Intelligence, ENI) 并定义 ENI 引擎到网络运维支撑系统 (operation supporting system, OSS), 都分析了 AI 可能的应用场景; 此外, 在运营商各类产品管理中也介绍了引入 AI 技术的方向, 如呼叫中心语音交互、在客户营销、市场营销中的 AI 应用等。目前的热点是在网络架构和标准化方面的 AI 能力引入, 移动通信国际标准化组织 3GPP 引入了网络数据分析功能 (network data analysis function, NWDAF), 定义了以 NWDAF 为核心的 5GC 智能架构。NWDAF 作为网络数据分析功能的 5G 核心网 AI 网元, 关注及实现 AI 技术与通信技术协议的融合, 完成对 5G 核心网络的移动性管理、网络服务质量 (quality of service, QoS) 以及 5G 核心网其他网元 (如用户面功能 (user plane function, UPF) 等) 进行智能化管理, 包括网络的性能分析、终端的移动性分析、终端的通信模式分析、终端的行为异常检测、业务体验预测等, 提升网络质量与用户体验。这部分的核心是在通信行业引入 AI 技术, 目前研究较多, 这里不赘述。

1.3 基于网络的人工智能

NET4AI 是指网络服务于 AI 的生成及能力开放, 如把 AI 各种能力 (如智能语音、知识图谱、图像内容理解等功能) 转换成用户可以通过网络调用、嵌入行业客户业务系统中的 AI 能力。结合 IoT/5G 网络技术的发展, 试着给出 NET4AI 的定义: 基于 IoT/5G 的 AI 能力开放, 即以新一代 IoT/5G 网络为基本支撑载体的, 考虑新一代终端技术演进方向的, 实现 AI 场景需求感知、AI 算力及承载资源调度、AI 生成 (包括数据采集、汇聚、存储、特征工程、模型训练、模型推导加载、优化维护等) 及 AI 服务能力开放的网络技术架构。NET4AI 使 AI 能力随网开放给各行业的应用需求, 是使网络成为 AI 从生成到应用全生命周期管理的技术架构, 使网络通过“人、机、物”的连接, 实现“数据、AI 能力、算力、应用”的连接。

NET4AI 符合人工智能发展的技术趋势: ①从技术融合角度, 结合目前“云网融合”“东数西算”“算网一体、算力网络”等运营商核心技术优势, 使“人工智能基础设施”“人工智能新基建”中的关键核心环节成为“网络基础设施的重要组成部分”; ②通过“AI 能力网络原生”的技术架构, 形成围绕 IoT/5G 网络的新型创新生态链, 建设 AI 技术应用过程中知识的积累复用机制, 解决数据积累、场景化特征工程、模型训练、加载、优化迭代运维过程中的能力复用问题, 并凝练相关标准及技术规范。

本文主要研究 NET4AI 所需进行的工作。

2 当前人工智能的研究方向

要想实现 NET4AI, 首先要进行 AI 基本技术研究及分析, 找出 AI 形成及应用过程中的关键影响因素, 进行技术要求及指标的提炼及构建, 然后将其转化成网络服务 AI 能力开发、建设及运维指标, 在此基础上构建下一代网络技术体系。AI 的技术研究方向基本有以下几个方面^[18-28]。

(1) 新的理论模型。解决当前神经网络计算模型依赖大量标注样本、鲁棒性和适应性差、可解释性不足、能效比低等问题; 实现因果推理、自适应、自学习、小样本学习、可解释性等智能新理论与新方法, 并由此提出新的 AI 计算平台框架。例如, 以类脑智能为代表的由脑结构和功能启发的新型神经网络模型, 期望基于脑科学的最新进展, 提出新型的神经网络计算模型, 研究监督学习、强化学习、无监督学习和元学习等多种类脑学习机制。

(2) 认知计算和知识图谱。面向开放、动态、真实环境下推理、决策、实际落地的需求, 进行常识学习、直觉推理、自主演化、因果分析等理论和方法研究, 进行知识图谱构建方法的研究; 进行知识图谱半自动、自动化工具的研究及开发; 面向 AI 可解释需求, 构建 AI 从数据采集、数据



解释、特征工程、模型构建、模型迁移、环境适应性、安全等知识图谱,并开展基于知识图谱决策知识系统、AI解释系统的构建。知识图谱是现在可见的解决行业/企业用户数据理解及认知问题的最佳技术,并且能提供一种全新的信息整理存储及计算思路。

(3) 大数据智能。核心是大数据、大模型、面向“通用智能”的需求,基于跨行业的海量数据搜集、汇聚、表达、理解及应用。符号主义和连接主义的结合,使大模型在大数据的支撑下发挥作用,如谷歌提出的 BERT、OPEN AI 发布的 GPT-3 等大模型,具备百亿/千亿级参数,需要大量的图形处理单元(graphics processing unit, GPU)、张量处理单元(tensor processing unit, TPU)进行训练及实际应用开发,这类大模型基本还是延续深度神经网络技术路线。

(4) 小数据智能。小数据也可以说是小样本,主要解决实际工作中,受采集、人工标注等限制而不可能获得满意样本数量的场景。在某些条件下,还包括考察对新数据集的适应性,在新数据集下,经过少量的标注学习(小样本学习)、零样本学习,进而发展出迁移学习、增量学习、强化学习等技术;另外,也可以指在不能获得原始数据条件下的机器学习技术,如联邦学习、隐私计算,解决的是数据共享、隐私保护方面的问题。

(5) 小模型研究。主要关注的是模型面向运行环境的适应性,主要有两个分支,一个是以知识蒸馏为代表的模型裁剪、优化、神经网络剪枝等,使训练好的推导模型“体积、尺寸”更小,满足部署环境的需求;另一个分支是 TinyML,目标是在低于 1 mW 的功耗下,如标准纽扣电池的运行功率下,运行机器学习模型,在成本和功率受限的系统中部署及完成机器学习任务,这个方向也是未来物联网领域人工智能的主要方向之一。

(6) 跨媒体智能。研究多模态、跨媒体关联

数据获取、开放域知识等问题,实现不同媒体、多模态数据集的构建方法、知识获取和推理方法,构建大规模、共享开放的跨媒体常识、客观规律和时空事件等知识库,提出并实现通用认知测试方法。

(7) 群体智能。基于人们对自然界群居、具备自组织能力的生物群体观察提出的一种 AI 研究方向,指由大量相同个体构成的群体通过特定的组织结构汇聚和管理大规模参与者完成任务时,涌现出的智慧超越其组成个体智慧的人工智能研究方向,如群体求解、群体数据及信息共享、群体算力共享等。还包括群体交互机制/协议、群体解决问题定义及分解、群体演化及能力开放等研究方向。

(8) 分布式智能。完成一个 AI 功能的各个流程环节存在于不同的物理实体、承载环境中,通过独特的技术框架实现各部分之间统一调度协调,完成数据采集、特征工程、模型构建、模型训练、加载、运维等全流程 AI 服务,满足数据安全、隐私、监管等各类要求。

(9) 机器学习框架、平台。面向机器学习技术的开发和应用,让开发人员更容易、更方便地通过一个定义好的平台框架使用预置的算法、模型,平台支持数据准备、特征工程、模型构建、训练、调试、验证、测试、硬件适配、发布部署等。国外的代表性平台有 TensorFlow 和 PyTorch,国内有华为的 MindSpore、百度的 PaddlePaddle 等。

此外,还有混合增强智能、自主智能系统、泛在智能、边缘计智能、新一代分布式智能等研究方向。总体来看,当前 AI 技术研究思路可以概括为:①基于人类认知本质,对外部世界实体、数据内在规律的研究、认知及建模;②相同数据情况下不同理论实践效果的研究及分析;③偏工程化的方向,相同实践效果下,与计算资源(算力)、承载资源(操作系统)、真实应用场景(实际生产数据)相适应的研究及模型优化、鲁棒性

研究等。其中,第②、③条的研究成果对新一代网络建设有指导意义。

3 基于网络的人工智能研究方向

3.1 基于网络的人工智能的 AI 研究方向

NET4AI 基本的“衡量目标”是网络是否能提供满足 AI 应用需求的,从场景感知、算力调度、模型适配及提供到服务关键绩效指标(key performance index, KPI)及 QoS 保障等各类支撑能力。因此,NET4AI 主要回答在以网络为基本支撑载体的情况下,AI 模型生成/构造、能力开放服务的关键技术指标如何定义,面向 AI 应用需求提供客观(可见/可评估)的考察和衡量标准,并把这些成果与通信协议融合,主要总结如下。

(1) AI 模型比较衡量指标。通过网络开放的核心技术,AI 客观指标必须是可见、可衡量、可计算、可比较的,需要使用用户可感知的形式呈现给用户,主要包含如下两种。

- 准确率指标。指在相同数据集下,不同理论模型解决相同问题生成的 AI 系统的准确率差异的评价标准,如文本搜索类的查全率、查准率等指标,人脸识别的错误接受率及错误拒绝率等。
- 模型处理问题时长指标。指不同的 AI 模型在相同的准确率、计算资源约束条件下,解决相同问题所需的时间差异,如语音识别中的实时率指标;实际中这个指标会转化成一定计算资源下的并发路数指标(一定资源下功能相同的 AI 系统同时服务的用户数),同时考察 AI 模型占用的 CPU/GPU/存储等资源是否有差异。

(2) AI 模型运行维护相关技术及标准。例如,模型是否可以快速根据新数据集训练升级新模型,模型准确性、效率等不会损失,符合生产要求。这个指标关注的是在原来算法的生成流程不

变的情况下,根据“新增数据”进行模型优化升级的能力,并提供一系列可见的验证方法、技术评价指标。

(3) AI 模型的场景化/泛化能力。模型对新场景/新样本集合的适应能力,训练好的模型在实际条件下是否还能维持一定的准确率的能力。这个指标与第二个指标有一定的相关性,但这个指标主要考查 AI 模型不升级情况下对场景的适应能力。

(4) AI 模型软硬件平台适应性指标。指训练好的模型对部署环境、操作系统的适应性以及对硬件的适配性等,实际中这部分涉及各类操作系统、软件工程相关工作。

(5) 分布式 AI 或 AI 流程标准件。利用分布式 AI 技术,实现数据采集、特征工程、模型训练、加载能力的组件化构造,AI 生成及服务的不同步步骤(流程/功能)由不同的网元完成。本部分工作有助于打破传统 AI 形成及能力提供的黑箱,使 AI 流程标准件各个部分可见、可衡量、可计算,并通过统一的控制器进行任务调度及分配。基本要求是形成与网络架构融合的,AI 生成及能力提供的分布式架构,并进行相应的标准化工作。

(6) 可解释性。AI 的可解释性是企业应用进行决策的重要前提,可解释性是指让人工智能系统的输出结果可以理解。使用者理解输入数据与预期结果的关系,理解模型的生成及工作过程,要求模型输出的结果覆盖各种可能,企业依据各种可能情况设计各种业务流。

(7) 安全。如何在保持数据的安全隐私前提下,进行 AI 技术研发及应用,并符合各类监管要求。

3.2 基于网络的人工智能的网络研究方向

对以上各种 AI 方向的研究成果进行标准化及工程化定义,将为形成未来的网络技术架构、新一代网络建设、网元的功能设计,流程、接口及相应的通信协议定义提供重要输入。因此,应该有以下几个研究方向。



(1) 与通信网络相融合的 AI 能力开放技术框架。这个框架实现对客户使用的 AI 能力的管理、加载、发布等功能,支撑面向业务侧的 AI 生成的几个核心功能实现,并定义相应的承载网元:数据采集/存储/特征工程、模型训练/生成、能力开放/场景化适配、优化/运维。这部分工作的意义是使 AI 能力开放给行业用户的技术要求体现在网络规范标准和网元定义及部署上。

(2) NET4AI 如何提供可计算及衡量的 AI 指标能力。结合 AI 技术的演进,NET4AI 相关网络功能(network function, NF)展现标准化的 AI 能力。在对企业 AI 服务方面,包括 NWDAF 等新一代网元功能或类似网元的技术演进,向其他 NF 提供 AI 能力或细分的 AI 功能,例如如何做到提供语音识别 AI 能力进行加载管理,具体的标准、工作流程如何制定。

(3) 基于新一代网络技术的算力/存储等基础资源的调度、分配和动态加载。在云网融合背景下,基于网络实现面向网络原生 AI 能力输出的算力资源调度、分配。

(5) NET4AI 的能力是否能做到安全、可信、可解释。怎样形成一个完备的符合安全、监管、可追溯要求的 AI 技术生产框架。

3.3 基于网络的 AI 的发展阶段探讨

NET4AI 技术研究的关键点需要结合物联网技术的发展,在提供面向企业的连接的基础上,逐步融合 AI 开放服务能力到 IoT/5G 的技术演进中,相关研究及实践应该有以下阶段。

(1) 梳理用户对 AI 能力的共性需求,选定并验证成熟 AI 能力通过网络进行开放阶段。这个阶段的主要工作是从宏观上验证网络与 AI 技术在架构上融合的可行性,包括:将一个成熟 AI 能力作为试验,进行 NET4AI 整体网络技术架构,明确关键技术指标定义、AI 能力开放相关网元、服务所需资源编排、服务质量保障、接口、协议等技术标准,同时进行应用效果评价,与传统 AI

能力开放的各类技术进行对比分析,进行经济指标、社会效益评价等。

(2) 验证 NET4AI 的场景化定制阶段。这个阶段主要验证 AI 能力基于网络技术架构的生成及定制化能力,如场景化 AI 需求的感知及识别,场景化数据的采集及特征工程,模型训练、模估、加载发布、优化运维;还包括场景化 AI 能力生成的任务编排、满足任务的逻辑架构、部署架构、跨站协同、相关功能的承载网元、网元间的交互流程、接口、协议、标准、服务质量保障等各类技术研究;同时,全面引入对 AI 技术的安全、可信、可解释的各类研究成果,服务企业用户。

(3) NET4AI 根据场景化要求的适配、优化阶段(AI 模型优化)。这个阶段主要验证 NET4AI 的 AI 模型的业务适应能力、模型优化所需的数据采集、数据处理及相关特征工程等的标准化及网络设计建设,如 AI 应用场景的数据采集、协议的转换,面向 AI 场景应用的数据特征工程,AI 应用承载的网元、接口、技术标准,AI 服务所需资源的精细化编排等;同时进行数据的安全隐私、AI 应用效果评价等。

(4) 全面融合新一代物联网终端能力阶段。这个阶段主要验证基于物联网海量连接、融合终端技术进展、感存算通一体、云网边端协同的基于网络的人工智能能力架构。这个阶段的工作是与以上 3 个阶段工作相互协调、互相促进、同步发展的。涉及的技术包括如下几种。

- 物联网终端与网络能力相配合的 AI 能力调度框架、KPI/QoS 体系。
- 基于知识图谱、语义标识解析等技术,面向各类行业 AI 需求提供 AI 能力需求的感知、推荐、加载(算力调度)、随愿开放能力。
- 实现物联网物理实体—信息实体—语义本体及扩展—人工智能能力搜索及获得的整体物联网标识语义技术体系。
- 结合终端算力、场景感知、场景服务的分

布式 AI 体系, 根据 AI 流程标准件研究进展, 使 AI 能力的各个部分通过网络的调度分配融合终端能力进行演进, 同时进行相应的协议及标准研制等。

4 结束语

目前 AI 能力提供方式主要有两种: 一种是目前传统互联网大型企业的平台型方式, 以平台为核心, 拓展相关的 AI 硬件, 形成相应的生态环境; 另一种是私有化部署、按客户需求开发。而使网络成为“人工智能的载体”, 人工智能能力与网络能力融合, 通过网络实现算力调度、算力泛在, 构建以网络连接为核心的新一代信息基础设施, 将成为未来 AI 能力提供的主要方式。通信技术的发展核心是赋能千百万行业/企业, 如工业互联网、自动驾驶等。AI 技术与网络进行深度融合的技术方向, 为网络技术的发展提供了新的思路, 其本质是实现人工智能基础设施与通信基础设施融合, 形成信息传输与信息处理融合的网络架构及相应的技术体系。

由于 AI 实现的复杂性, 技术实现上涉及模型(认知)、算法、芯片、平台, 产业应用上又涉及产业知识、数据、业务、原有产品及系统等。要实现在 IoT/5G 网络技术发展中吸收 AI 技术的目标, 需要深入研究 AI 技术的各个方面, 而其中 AI 的评价技术(如数据的评价、模型的评价等)显得十分重要, 对 AI 生成及使用各个阶段进行准确定义及相应评价结果的可视化, 使行业/企业用户明确使用的 AI 产品及服务是什么; 在各类 NF 设计、通信协议制定中, 如何承载相关技术要求, 使 AI 技术能力沉淀到网络架构/能力中, 并提供方便获取、可信赖、可解释的 AI 能力是一个有意义的研究方向。

参考文献:

- [1] “十四五”数字经济发展规划[R]. 2022.
The plan for development of the digital economy during the “14th Five-Year”[R]. 2022.
- [2] “十四五”国家信息化规划[R]. 2021.
The plan for national informatization during the “14th Five-Year”[R]. 2021.
- [3] 韦乐平. “连接+”是运营商转型的正确路径[R]. 2022.
WEI L P. “Connection+” is the correct path for the operators’s transformation[R]. 2022.
- [4] 欧阳晔, 王立磊, 杨爱东, 等. 通信人工智能的下一个十年[J]. 电信科学, 2021, 37(3): 1-36.
OUYANG Y, WANG L L, YANG A D, et al. Next decade of telecommunications artificial intelligence[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(3): 1-36.
- [5] 李琴, 李唯源, 孙晓文, 等. 6G 网络智能内生的思考[J]. 电信科学, 2021, 37(9): 20-29.
LI Q, LI W Y, SUN X W, et al. Thinking of native artificial intelligence in 6G networks[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(9): 20-29.
- [6] ETSI. Improved operator experience through experiential networked intelligence (ENI)[R]. 2017.
- [7] Study on applying AI in telecommunication network: CCSA TC1-WG1#58 meeting[R]. 2017.
- [8] 3GPP. Architecture enhancements for 5G system (5GS) to support network data analytics services: TS 23.288[S]. 2021
- [9] 3GPP. RAN-centric data collection and utilization: RAN3 SI, 2017.08/10[S]. 2018.
- [10] 3GPP. Study on the self-organizing networks (SON) for 5G networks: TR28.861[S]. 2019
- [11] 3GPP. Study on management aspects of communication services: TR28.805 V1.1.0[S]. 2019.
- [12] ITU-T. Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020: SG13 Y.317[S]. 2019.
- [13] S2-2004541. Federated learning among multiple NWDAF instances, 3GPP TSG-WG SA2 meeting #139E e-meeting[R]. 2020.
- [14] IMT-2030(6G)推进组. 6G 总体愿景与潜在关键技术[R]. 2021.
IMT-2030 (6G) Propulsion Group. 6G overall vision and potential key technologies[R]. 2021.
- [15] 张平, 牛凯, 田辉, 等. 6G 移动通信技术展望[J]. 通信学报, 2019, 40(1): 141-148.
ZHANG P, NIU K, TIAN H, et al. Technology prospect of 6G mobile communications[J]. Journal on Communications, 2019, 40(1): 141-148.
- [16] 张彤, 任奕璟, 闫实, 等. 人工智能驱动的 6G 网络: 智慧内生[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 14-22.
ZHANG T, REN Y J, YAN S, et al. Artificial intelligence driven 6G networks: endogenous intelligence[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(9): 14-22.
- [17] 蒲慕明, 徐波, 谭铁牛. 脑科学与类脑研究概述[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(7): 725-736, 714.
PU M M, XU B, TAN T N. Brain science and brain-inspired in-



- telligence technology—an overview[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(7): 725-736, 714.
- [18] 熊回香, 杨滋荣, 蒋武轩. 跨媒体知识图谱构建中多模态数据语义相关性研究[J]. 情报理论与实践, 2019, 42(2): 13-18, 24.
- XIONG H X, YANG Z R, JIANG W X. Semantic correlation of multimodal data in the construction of cross-media knowledge graph[J]. Information Studies: Theory & Application, 2019, 42(2): 13-18, 24.
- [19] 蒋逸, 张伟, 王佩, 等. 基于互联网群体智能的知识图谱构造方法[J]. 软件学报, 2022, 33(7): 2646-2666.
- JIANG Y, ZHANG W, WANG P, et al. Knowledge graph construction method via Internet-based collective intelligence[J]. Journal of Software, 2022, 33(7): 2646-2666.
- [20] 杨强, 童咏昕, 王晏晟, 等. 群体智能中的联邦学习算法综述[J]. 智能科学与技术学报, 2022, 4(1): 29-44.
- YANG Q, TONG Y X, WANG Y S, et al. A survey on federated learning in crowd intelligence[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2022, 4(1): 29-44.
- [21] 郎春雨, 侯霞. 基于迁移学习的实体关系抽取技术综述[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2022, 37(1): 65-70.
- LANG C Y, HOU X. Review of transfer learning technology for entity and relation extraction[J]. Journal of Beijing Information Science & Technology University, 2022, 37(1): 65-70.
- [22] 王萌, 王昊奋, 李博涵, 等. 新一代知识图谱关键技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2022, 59(9): 1947-1965.
- WANG M, WANG H F, LI B H, et al. Survey on key technologies of new generation knowledge graph[J]. Journal of Computer Research and Development, 2022, 59(9): 1947-1965.
- [23] 赵凯琳, 靳小龙, 王元卓. 小样本学习研究综述[J]. 软件学报, 2021, 32(2): 349-369.
- ZHAO K L, JIN X L, WANG Y Z. Survey on few-shot learning[J]. Journal of Software, 2021, 32(2): 349-369.
- [24] 潘崇煜, 黄健, 郝建国, 等. 融合零样本学习和小样本学习的弱监督学习方法综述[J]. 系统工程与电子技术, 2020, 42(10): 2246-2256.
- PAN C Y, HUANG J, HAO J G, et al. Survey of weakly supervised learning integrating zero-shot and few-shot learning[J]. Systems Engineering and Electronics, 2020, 42(10): 2246-2256.
- [25] 张鲁宁, 左信, 刘建伟. 零样本学习研究进展[J]. 自动化学报, 2020, 46(1): 1-23.
- ZHANG L N, ZUO X, LIU J W. Research and development on zero-shot learning[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(1): 1-23.
- [26] 陈学松, 杨宜民. 强化学习研究综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(8): 2834-2838, 2844.
- CHEN X S, YANG Y M. Reinforcement learning: survey of recent work[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(8): 2834-2838, 2844.
- [27] C. J. Abate, 禾沐. 机器学习的未来: Daniel Situnayake 访谈[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(6): 1-3, 6.
- ABATE C J, HE M. The future of machine learning: interview with Daniel Situnayake[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2021, 21(6): 1-3, 6.
- [28] 秦全德, 程适, 李丽, 等. 人工蜂群算法研究综述[J]. 智能系统学报, 2014, 9(2): 127-135.
- QIN Q D, CHENG S, LI L, et al. Artificial bee colony algorithm: a survey[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2014, 9(2): 127-135.

[作者简介]



杨震 (1972—) 男, 博士, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为人工智能、自然语言处理、物联网技术、搜索引擎。

赵建军 (1974—) 男, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网架构、网络、平台及业务等。

黄勇军 (1970—) 男, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网关键技术规划与管理等。

李洁 (1980—) 男, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网人工智能、工业互联网等。

陈楠 (1981—) 男, 博士, 天翼物联科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为物联网关键技术与架构、物云网融合等。