



基于云边协同的工业互联网实践

崔羽飞, 张云勇, 张第, 王晓霞, 潘思宇, 李堃
(中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100176)

摘要: 随着工业互联网技术、5G 和边缘计算的发展, 各国纷纷提出自己的工业互联网发展战略和建设工业互联网平台。云边协同的工业互联网平台是工业互联网发展的重要组成部分。介绍了工业互联网云边协同的方式, 阐述了云边协同过程中存在的问题, 并基于数据协同和模型协同进行实践。

关键词: 工业互联网; 5G; 云边协同

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020025

Analysis and development suggestions of operators in the field of industrial internet identification analysis system

CUI Yufei, ZHANG Yunyong, ZHANG Di, WANG Xiaoxia, PAN Siyu, LI Kun
Research Institute of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100176, China

Abstract: With the development of industrial internet technology, 5G and edge computing, countries have put forward their own industrial Internet development strategies and construction of industrial Internet platform. Cloud edge collaborative industrial Internet platform is an important part of the development of industrial Internet. The way of industrial Internet cloud edge collaboration was introduced, the problems in the process of cloud edge collaboration were expounded, and practices were taken based on data collaboration and model collaboration.

Key words: industrial internet, 5G, cloud edge collaboration

1 引言

随着工业革命的不断演进和信息化的不断发展, 全球主要的工业化国家重新审视制造业对国家竞争力的核心作用, 将发展制造业、重塑制造业竞争优势上升至国家战略, 并认识到新一代信息技术与制造业的深度结合是实现再工业化和重塑实体经济综合竞争优势的关键^[1]。2013 年德

国在汉诺威工业博览会上提出“工业 4.0”战略^[2]。随后, 中国提出了“中国制造 2025”, 日本推进了“互联工业”计划, 美国发布了《美国先进制造领导力战略》等, 世界各国积极推动信息化与工业化的深度融合, 助力制造业数字化转型赋能。“中国制造 2025”计划拉开了我国工业互联网发展的序幕。近年来, 我国不断推出工业互联网的政策和完善工业互联网生态环境, 加快工业互联网



的发展,助力中国从制造大国向制造强国转变和抢占新工业革命制高点。

随着工业互联网的不断发展和工业物联网设备的不断增加,工业物联网设备将产生大量的实时数据。据 IDC 预测,到 2020 年年底,全球数据总量将大于 40 ZB。传统大量的实时数据上传云端进行数据处理的方式,势必造成资源的浪费。随着工业数据量呈指数级增长,基础网络资源、存储资源和计算资源的压力会越来越大。市场研究机构 Gartner 认为,随着数字业务的不断发展,到 2022 年年底,75%企业的生成数据将会在传统的集中式数据中心或云端之外的位置创建并得到处理。

5G 和边缘计算应运而生。5G 以低时延、大连接、超高带宽的特点完全契合工业互联网的发展需要^[3-5]。低时延能够解决工业设备精细控制的时延要求,大连接可以满足工业海量物联网设备联网的需求,超高带宽能够承载呈指数级增长的海量数据。边缘计算使得工业数据在边缘节点进行初步分析、过滤和整合,只将少量的有效数据上传到中心云节点,有效降低边缘节点的计算成本、存储成本和数据的传输成本,同时减少中心云节点与边缘节点的网络资源压力。云计算和边缘计算优势互补,共同促进整个工业 IT 和 OT 的深度融合。工业互联网云边协同将促进我国制造业数字化转型,对实现制造业高质量发展以及提升国际竞争力具有战略意义。

2 工业互联网云边协同

2.1 云边协同

工业互联网云边协同主要包括资源协同、数据协同、模型协同、服务协同、业务管理协同和应用管理协同。云边协同可以更好地匹配各类应用场景需求,最大化边缘计算和应用的价值,共同助力工业企业实现数字化转型。

(1) 资源协同

边缘节点提供计算、存储、网络、虚拟化等

基础设施资源,同时建立边缘云中心云平台相互连接、通信的 API,为核心云节点提供设备自身配置、监控、维护、优化等信息;核心云节点收集边缘节点设备的信息,提供资源调度管理的功能,优化资源配置。

(2) 数据协同

数据协同主要包括设备管理数据、生产过程数据和企业运营管理数据。

边缘节点主要负责海量物联网终端的生产和监控信息、生产过程信息和企业运营管理信息的采集,并按照数据分析需求和数据建模需求对数据进行初步的分析与挖掘,并将处理后的数据结果上传到核心云节点;核心云节点接收从边缘节点发送的数据,提供海量数据的存储、分析与价值挖掘,形成应用于企业生产发展的底层物联网设备和基础设施管理服务、工业生产过程中的管理和控制服务及企业全局的管理和运营服务。

(3) 模型协同

边缘节点为人工智能的数字化模型构建提供边缘物联网设备的数据,提供数字化模型部署和运行环境,负责在边缘节点执行已经完成的模型,并将模型的结果上传到核心云节点。核心云节点基于业务需求、物联网终端的历史数据和实时数据、模型的反馈结果数据,进行模型的训练和优化,并将训练完成的模型下发给边缘节点进行部署和管理工作。

(4) 服务协同

边缘节点执行远中心云节点的实时控制信息;中心云节点进行实时控制信息的下发和管理工作。

(5) 业务管理协同

边缘节点提供业务分发、管理和控制的 API;中心云节点提供业务和应用的部署、管理和编排能力,从全局掌控整个企业的业务经营管理情况,按照实际需求进行业务编排。

(6) 应用管理协同

边缘节点提供边缘应用部署与运行环境及生命周期管理 API；中心云节点实现对边缘应用的全生命周期管理，包括应用的推送、安装、卸载、更新、监控等。

边缘节点为边缘应用提供部署与运行环境及非低时延类应用生命周期管理 API，一方面针对低时延类应用提供本地生命周期管理能力；中心云节点实现对边缘应用的全生命周期管理，还可以提供边缘节点应用开发、测试能力。

2.2 云边协同中存在的问题

在工业互联网云边协同的过程中，也存在一些实质性的问题，包括数据质量低、网络与数据安全问题、上下游产业链支撑能力不足、缺乏龙头企业引领和平台应用领域相对单一，这些问题严重制约着工业企业数字化转型的进程。

(1) 数据质量低

工业制造产生海量的物联网设备数据，但是数据多而杂，高质量的数据比较少。边缘节点需要根据需求进行大量的数据处理、分析和过滤才能形成高质量可用的数据。亟需制定统一的工业数据采集标准、网络传输标准和技术标准，从而形成统一互通的行业生态。

(2) 网络与数据安全

工业企业未上云之前，工业企业面临的安全问题只有工控硬件的安全问题。工业企业上云之后，从原有的工控硬件安全升级到现在的工业设备、网络和数据安全，安全性要求非常高，工业互联网平台安全领域的技术、管理、标准、政策法规体系方面的供给能力都需要加强。

(3) 上下游产业链支撑能力不足

缺少工业互联网平台发展所需的上下游产业链，例如数据感知、自动控制、网络设备、工控软件等一系列产业，难以满足工业应用快速发展的需求。

(4) 缺乏龙头企业引领

我国工业互联网平台尚处于萌芽阶段，工业互联网的平台参差不齐。虽然我国具备完整的工业体系、庞大的工业企业数量和工业企业的创新人才队伍，但是缺乏具有产业链集成整合能力的龙头，各个工业企业各自为政、单打独斗，没有形成合力，难以形成应对工业发展的集中力量。

(5) 平台应用领域相对单一

由于我国工业技术原理、行业知识和生产工艺的积累不足，平台功能仅关注设备管理和生产过程管理，缺乏完整性，导致与实际业务需求结合的程度不够紧密，工业 App 数量与工业用户数量尚未形成规模，平台应用需要进一步推广和普及。

(6) 产业创新生态尚未形成

目前国内平台工业 App 开发应用和开源社区培育能力还很薄弱，兼具工业经验、数学建模、软件开发的复合型人才极度缺乏，应用平台开发商、第三方业务应用开发者与平台用户相互促进、互利共赢的产业生态尚未形成。

(7) 平台管理还不完善

当前我国工业互联网平台还存在着数据流转和行业准则不规范、工业信息安全和防护不完善、运营管理和第三方服务不到位等问题，围绕工业互联网平台关键产品和服务的试验测试、动态监测和安全审查等工作机制和管理体系亟需建立。

3 工业互联网云边协同架构

3.1 整体架构

工业互联网平台是工业互联网的核心，工业互联网平台是利用新时代数字化与工控技术相结合，打造 IT 和 OT 全面融合的全生产要素、全产业链相连接的工业平台，通过工业互联网采集海量工业数据，围绕着设备管理、数据采集、存储、传输、管理、呈现、分析、挖掘、建模与应用开发，开发出覆盖工业产品全生命周期的业务及创新性应用，以提升资源配置效率，推动制造业的

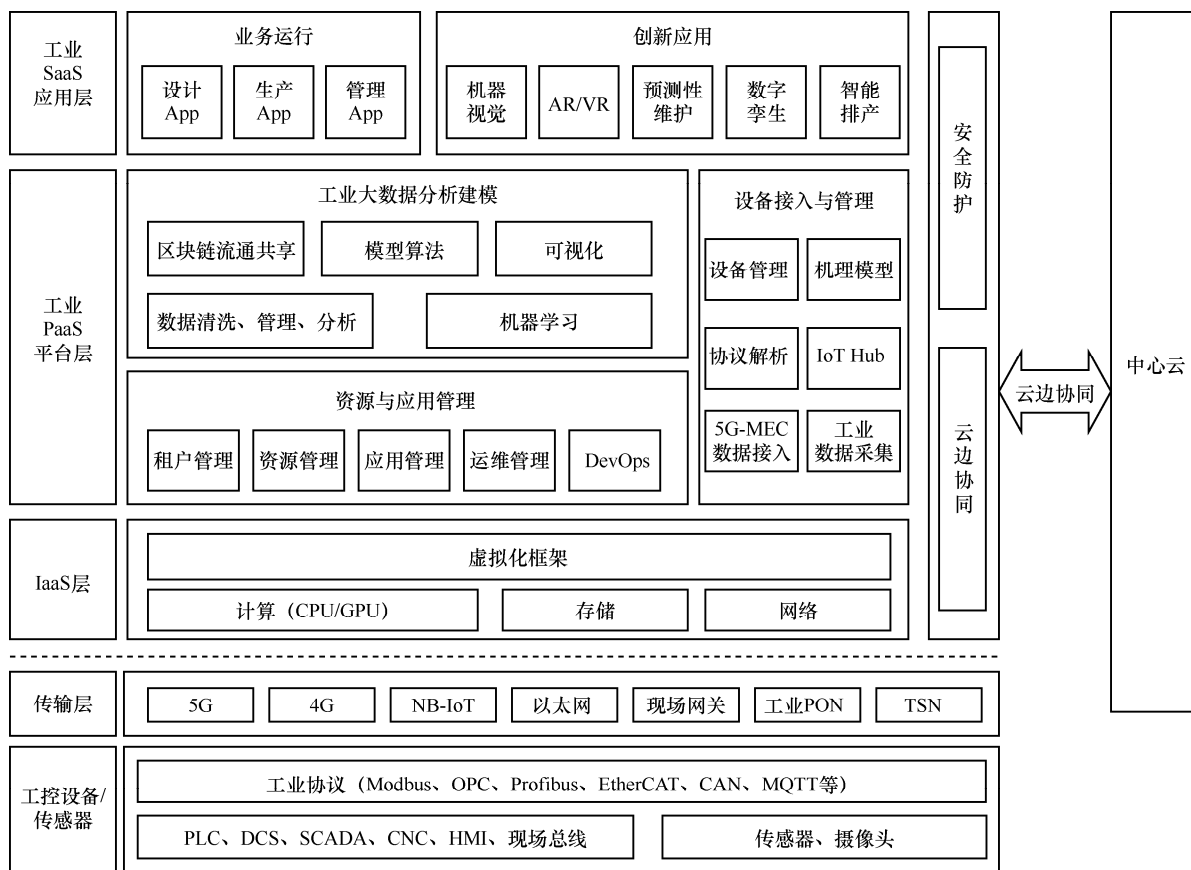


图1 工业边缘计算云平台整体架构

高质量发展^[6]。

本平台主要包括边缘节点和中心节点两部分。边缘节点的平台架构包括工控设备/传感器、传输层、IaaS（infrastructure as a service）层、工业PaaS（platform as a service）平台层和工业SaaS应用层。

3.2 IaaS 层

IaaS 层是云计算中的基础设施，即服务层。IaaS 提供硬件基础设施部署服务，为用户按需提供实体或虚拟的计算、存储和网络等资源^[7]。虚拟化技术为平台实现硬件资源的优化提供了技术基础。借助于 Xen、KVM、VMware 等虚拟化工具，可以为工业场景提供可靠性高、可定制性强、规模可扩展的 IaaS 层服务^[8-9]。

底层系统的资源使用中国联通沃云虚拟机及主流物理机作为底层资源池。在容器云管理平台的

基础架构之上利用 kubernetes 对容器进行管理、编排和调度，保证容器化应用的灵活性及可扩展性。

3.3 工业 PaaS 平台层

工业 PaaS 平台层是工业边缘计算云平台应用程序运行环境，提供应用程序部署与管理服务。工业 PaaS 平台层主要包括 3 个部分：工业大数据分析建模、资源与应用管理和设备接入与管理。

工业大数据分析建模提供了用户数据建模的数据清洗、管理以及分析的能力，例如 zeppelin、darwin 等。资源与应用管理提供了容器化的 tomcat 来支撑前端的创新应用，用于清洗建模所需数据集的容器化 MySQL。扩展性方面提供 Devops 迭代升级能力。设备接入与管理能力提供底层设备的管理、底层设备的数据采集传输以及接收、协议解析等能力。

利用工业 PaaS 平台层提供的软件工具,上层创新应用的开发者只需接收工业的实时数据和应用的程序代码就可以使用工业 PaaS 层的服务,上层创新应用的开发者不需要关心底层的计算、存储和网络等资源。

3.4 工业 SaaS 应用层

工业 SaaS 应用层是基于底层基础能力平台所开发的程序。工业企业可以根据企业的特点来定制开发用户解决企业自身业务难题的创新应用,如机器视觉、预测性维护。

同时工业 SaaS 应用层提供前端 Web 界面的展示,屏蔽底层技术的复杂性,通过界面形象化地表达底层数据意义。Web 应用端包括创新应用管理、资源与应用管理、设备健康管理、生产安全监控、工业大数据分析建模管理及在线升级功能,为工业企业提供全方面的工业管理、工业控制和工业运营的能力。

4 工业互联网云边协同实践

4.1 工业互联网云边数据协同

数据是工业互联网平台的重要资源,是创造价值的基础资源。工业大数据主要包括 3 类:企业信息化数据、工业物联网数据和外部跨界数据。本节主要关注工业物联网数据在边缘节点和中心云节点之间的数据协同。

(1) 基本介绍

边缘与云平台数据协同示意图如图 2 所示,利用 Rabbitmq 消息队列架设实时数据传输服务,完成边缘节点与核心云节点之间的数据协同。边缘节点对数据进行预处理分析,将工业大数据中高质量的数据提取出来传送到核心云节点。

(2) 技术方案

本文利用部署在边缘节点和中心云节点的两台云主机进行云边数据协同,本方案主要包括 3 个方面:数据发送模块、数据同步模块和数据接收模块。

数据发送模块:根据云应用的需求,通过发送模块对数据进行处理、过滤和转换,为数据同步模块提供高质量的数据。

数据同步模块:利用 Rabbitmq 在边缘节点和中心云节点搭建数据通道,对各类数据进行实时传输。

数据接收模块:对 Rabbitmq 发送的数据接收,并按照需求进行存储和处理,为进一步应用提供数据基础。

(3) 相关场景

数据过滤:边缘节点可以在本地进行数据的筛选和过滤。在企业上云的大环境下,减少中心云的存储,可以为企业降低成本。

数据分析与模型部署:企业上云的目的不

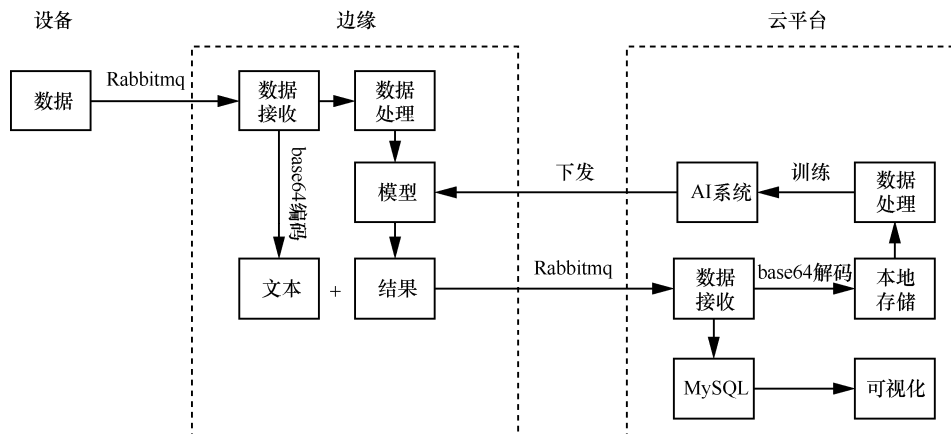


图 2 边缘与云平台数据协同示意图



是减少本地化数据中心成本而是利用云进行企业、产品和运营的数据分析并提供解决方案,为企业提供更好的运营和管理方案,并创造价值。中心云节点可以为企业提供更丰富的数据,利用大数据分析模型,为企业更好地创造价值。

(4) 小结

以上基于中国联通沃云云边协同中的数据协同进行了实践,利用 Rabbitmq 建立实时数据通道,可以实现工业数据在边缘节点和中心云节点的交互,为企业云边协同的数字化转型提供了实践基础。

4.2 工业互联网云边模型协同

随着人工智能的发展,智能化、自动化、可视化和定制化的智能生产成为新一代工业制造业发展的目标。基于工业的实时数据和历史数据,对工业生产数据进行数据分析与建模,能够挖掘海量工业数据的价值。工业 PaaS 平台集成了工业大数据分析与建模能力。工业数据分析是开启海量工业数据应用价值的钥匙,数据分析的深浅是决定数据应用价值高低的主要因素。工业数字化模型基于行业知识、经验及生产工艺等相关的专业知识和海量的工业大数据,构建用于工业生产业务的分析、预测、决策以及指导实际工作的工业数字化模型。

(1) 基本介绍

如图 3 所示,本文基于 Keras 深度学习框架研发铝材边缘机器视觉质量检测模型。边缘计算

云平台实时接收来自一线机器设备的数据,进行数据预处理后,快速存入平台内的时序数据库,并通过低时延通信网络传送到中心云平台,构建机器学习/深度学习训练数据集。结合传统的工业技术原理、行业知识及经验和生产工艺,利用深度学习和机器学习算法,实现工业场景下的人工智能应用。通过持续的模型训练和结果反馈进行迭代更新,形成云边协同下系统性闭环的、可交付下发的应用模型。

中心云端基于 Keras 进行模型训练,训练完成后将算法下发部署到边缘节点,实时对新的图像进行预测,存储并上传预测结果。基于模型的铝材质量检测缩短了 95% 的识别时间,识别成功率达 98%,保证了客户数据安全性及工业级快速检测需求。

(2) 技术方案

本节技术方案主要包括数据采集与预处理模块、数据同步模块、数据接收模块、模型训练与优化模块和模型下发模块。

数据采集与预处理模块:主要完成图片数据的采集,并将数据进一步封装,提高数据的传输速度。

数据同步模块:利用 Rabbitmq 在边缘节点和中心云节点搭建数据通道,对各类数据进行实时传输。

数据接收模块:对 Rabbitmq 发送的数据接收,并将按照需求进行存储和处理,为进一步应用提供数据基础。

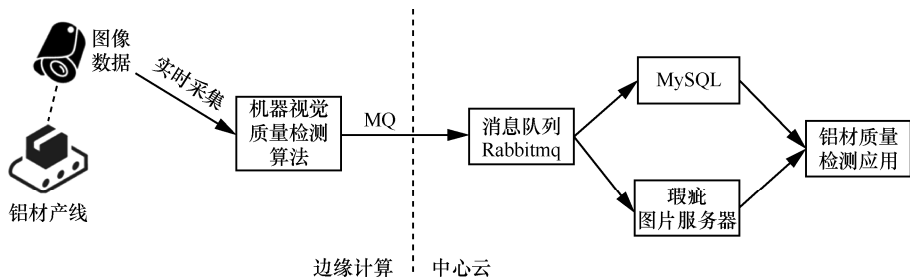


图 3 基于 Keras 的铝材边缘机器视觉质量检测

模型训练与优化模块：中心云利用 Keras 对采集的数据进行模型训练，并周期性地对模型进行优化。

模型下发模块：中心云节点将训练完成的模型下发到边缘节点，在边缘节点进行模型的应用。

(3) 应用场景及小结

以上基于中国联通沃云进行了云边协同模型协同的实践，利用人工智能技术可以快速提高检测的效率和准确率。本实践还可应用于其他图像检测应用，例如衣服印花检测、钢材检测 and 产品质量检测。

5 结束语

随着 5G、MEC 等技术的不断发展，基于工业互联网的云边协同必将为智能化、自动化、可视化和定制化的智能工业提供强力的支撑。无论是工业界还是学术界都提出了一系列实施技术和改进策略，并从理论和实际应用的角度进行了阐述。随着万物互联时代的到来，云边协同将加快我国工业数字化转型，使我国从制造大国走向制造强国。

参考文献：

- [1] 余晓晖, 杨希, 蒋昕昊. 工业互联网的发展实践与未来方向[J]. 新经济导刊, 2019(2): 34-38.
YU X H, YANG X, JIANG X H. The development practice and future direction of industrial Internet[J]. New Economy Leader, 2019(2): 34-38.
- [2] 杨帅. 工业 4.0 与工业互联网: 比较、启示与应对策略[J]. 当代财经, 2015(8): 101-109.
YANG S. Industry 4.0 and industrial internet: comparison, enlightenment and countermeasures[J]. Contemporary Finance & Economics, 2015(8): 101-109.
- [3] 张平, 陶运铮, 张治. 5G 若干关键技术评述[J]. 通信学报, 2016(7): 15-29.
ZHANG P, TAO Y Z, ZHANG Z. Survey of several key technologies for 5G[J]. Journal on Communications, 2016(7): 15-29.
- [4] 陈全, 邓倩妮. 云计算及其关键技术[J]. 计算机应用, 2009(9): 2562-2567.
CHEN Q, DENG Q N. Cloud computing and its key techniques[J]. Journal of Computer Applications, 2009(9): 2562-2567.
- [5] 罗军舟, 金嘉晖, 宋爱波, 等. 云计算: 体系架构与关键技术[J]. 通信学报, 2011(7): 7-25.
LUO J Z, YU J H, SONG A B, et al. Cloud computing: architecture and key technologies[J]. Journal on Communications, 2011(7): 7-25.
- [6] 董军, 李文嵩, 王里程. 鞍钢在建设行业云数据中心的实践[J]. 冶金自动化, 2019(5).
DONG J, LI W S, WANG L C. Practice of industrial cloud data center construction in Ansteel [J]. Metallurgical Industry Automation, 2019(5).
- [7] 郑树泉. 工业物联网大数据平台架构与应用[J]. 软件产业与工程, 2016(6).
ZHENG S Q. The structure and application of big data platform for industrial internet of things[J]. Software Industry and Engineering, 2016(6).
- [8] KHAN A U R, OTHMAN M, MADANI S A, et al. A survey of mobile cloud computing application models[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(1): 393-413.
- [9] RAYMOND K K, STEFANOS G, PARK J H. Cryptographic solutions for industrial internet-of-things: research challenges and opportunities[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018: 1.
- [10] 郭佳睿, 魏进武, 张云勇. 大数据助力运营商提升规模化运营核心力策略[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 120-125.
GUO J R, WEI J W, ZHANG Y Y. Strategies for enhancing core capability of large-scale operation for national telecom operators assisted by big data[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 120-125.
- [11] 张云勇. 电信运营商大数据发展建议[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 103-108.
ZHANG Y Y. Suggestions for telecom operators' big data development[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 103-108.
- [12] 王计艳, 王晓周, 吴倩, 等. 面向 NB-IoT 的核心网业务模型和组网方案[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 148-154.
WANG J Y, WANG X Z, WU Q, et al. Core network service model and networking scheme oriented NB-IoT[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 148-154.
- [13] 程日涛, 邓安达, 孟繁丽, 等. NB-IoT 规划目标及规划思路初探[J]. 电信科学, 2016, 32(Z1): 137-143.
CHENG R T, DENG A D, MENG F L, et al. Study on NB-IoT planning objectives and planning roles[J]. Telecommunications



Science, 2016, 32(Z1): 137-143.

[14] 刘玮, 董江波, 刘娜, 等. NB-IoT 关键技术与规划仿真方法[J]. 电信科学, 2016, 32(Z1): 144-148.

LIU W, DONG J B, LIU N, et al. NB-IoT key technology and design simulation method[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(Z1): 144-148.

[作者简介]



崔羽飞(1990-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院大数据研究中心大数据工程师, 主要从事大数据处理、Web 研发等方面的工作。



张云勇(1976-), 男, 博士后, 中国联合网络通信有限公司研究院院长、教授级高级工程师, 国务院特殊津贴专家, 入选国家百千万人才工程、青年拔尖人才计划、中青年科技创新领军人才, 入选国务院国有资产监督管理委员会候选人, 获得中国青年科技奖, 主要研究方向为云计算、移动互联网、物联网、大数据、信息安全、SDN/NFV 国际行业标准、新技术实验以及国家重大专项的研发、验证及实施等。



张第(1986-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院大数据研究中心大数据工程师, 主要从事数据挖掘、数据加工等方面的研究工作。



王晓霞(1987-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院大数据研究中心大数据工程师, 主要从事数据挖掘、数据建模、大数据处理等方面的研究工作。



潘思宇(1994-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院大数据研究中心机器学习算法工程师, 主要从事数据挖掘、算法研究、数学建模等方面的研究工作。

李堃(1994-), 女, 中国联合网络通信有限公司研究院大数据研究中心大数据工程师, 主要从事数据分析、数据建模等方面的研究工作。