

云边端协同的天空地一体气象信息处理及智能服务研究

舒红平^{1,2}, 唐 旺^{2,3}, 罗 飞^{1,2}, 赵卓宁^{1,2}, 王亚强^{1,2}

(1.成都信息工程大学软件工程学院, 四川 成都 610225;

2.软件自动生成与智能服务四川省重点实验室, 四川 成都 610225;

3.成都信息工程大学电子信息工程学院, 四川 成都 610225)

摘 要:我国建起当今世界上规模最大、覆盖最全的天空地一体化自动化综合气象观测网和综合气象观测系统,气象信息化提出数字转型新需求。从云边端协同的分布式技术的角度,根据云边端气象信息处理的技术特点,结合中国气象局实际业务情况,分析天空地一体云边端协同技术在气象信息处理与服务中的实施可能性,提出模型驱动的云边端协同的天空地一体气象信息处理体系架构和服务架构。

关键词:气象信息化;数字化转型;云边端协同技术

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021012

Research on Cloud-Side Collaborative Meteorological Information Processing and Intelligent Services

SHU Hongping^{1,2}, TANG Wang^{2,3}, LUO Fei^{1,2}, ZHAO Zhuoning^{1,2}, WANG Yaqiang^{1,2}

1.College of Software Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China

2.Sichuan Key Laboratory of Software Automatic Generation and Intelligent Service, Chengdu 610225, China

3.School of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China

Abstract: China has set up the largest and most comprehensive "land-air-space" integrated automatic meteorological observation network and integrated meteorological observation system in the world. Meteorological informatization has put forward new demands for digital transformation. From the perspective of cloud edges synergy distributed technology, according to the technical characteristics of cloud, edge and side collaborative distributed technique of meteorological information processing, according to the real business situation of the China meteorological administration, the implementation possibility of the cloud, edge and side collaborative technique in meteorological information processing and service were analyzed, and a model driven cloud, edge and side collaborative system architecture and service architecture for the meteorological information processing was proposed.

Keywords: meteorological informatization, digital transformation, cloud-side collaborative technique

1 引言

我国已建起天空地一体化自动化综合气象观测网和综合气象观测系统、无缝隙智能化的气象预报预测系统以及覆盖国家、区域、省、地市4级的全国气象广域通信网络系统^[1]。风云气象卫星向全球115个国家和地区2 700多个用户提供服务,形成了一套地面线路和卫星通信系统相融合、公网和专网相结合的面向多种终端的气象信息发布渠道^[2]。中国气象局作为当今全球9个世界气象中心之

一,已初步构建起“全球监测、全球预报、全球服务”的业务格局^[3]。

新时代人民群众对气象服务的精细化、专业化、个性化提出了更高的要求,对气象信息应用的生活性、生产性、生态性提出了更广泛的需求。保障气象数据在观测、采集、传输、存储、加工、分发和服务等全生命周期各阶段分布式业务协同处理,加强低时延、高可靠性、低功耗、连续性、大连接的气象信息通信能力建

设,对支撑气象信息应用的高质量、高时效和完整性,具有重要的战略和工程价值。

本文结合目前我国天空地一体化自动化综合观测网和综合气象观测系统的特点,以气象领域业务特点和实际需求,探讨云边端协同的气象信息处理及智能服务的可能性。

2 云边端协同的分布式技术概述

机器的计算模式已经经历了7个重要的阶段。第一个阶段是1965–1985年,主要以大型机为核心,采用集中式处理模式进行计算。第二个阶段是1986–1990年,主要以PC或文件服务器为核心,采用数据文件共享的方式实现分布式计算。第三个阶段是1991–1995年,出现了以客户端、服务器分离的C/S结构为主流的主从分布式计算模式。

1996年至今,为了减轻客户端计算压力,出现了以Web为核心,浏览器、服务器结构为主流的主从分布式计算模式^[4]。2005年,随着移动设备的广泛普及,以各类移动设备为核心的普适计算模式盛行。但是,随着用户数据的不断积累,移动端已无法支撑庞大的个人数据计算服务。因此,以云计算为核心的集中式共享计算模式出现^[5]。当前,随着云端数据规模的不断扩充,简单的以增加硬件设施提升云服务能力的模式从带宽、时延和数据安全等方面已无法满足计算需求,因此,2015年出现了以物联网和边缘计算为代表的分布式与集中式融合的混合计算模式^[6–7]。

从计算模式的变迁可以看出,计算模式是在集中式计算和分布式计算之间不断摇摆、往复式向前发展的。计算资源、硬件成本、网络通信、计算能耗、数据安全等因素是计算模式发展过程中的主要影响因素。目前,实现智能化是各行业信息化发展的主要目标,数字化是行业智能化的基础,网络化是行业智能化的支撑。在行业智能化的过程中,数字化将产生大量基础数据,网络化将实现数据的价值流动,行业智能化能够为各行业创造经济和社会价值。而行业智能化带来的计算需求是目前由以云计算为代表的集中式计算模式向云边协同的分布式计算模式发展的主要驱动力。

目前,行业智能时代已到来,智能分析的实际场景应用带来从算力方面要求高带宽、低时延,从数据隐私方面要求安全保密,从绿色环保方面要求降低能耗的具体需求,驱使一些数据处理和计算应该从云端卸载到边缘端。Gartner公司在2019年发布报告^[8],认为边缘计算能够解决数字业务场景下云计算的时延、带宽、自主性和隐私需求问题,边缘计算具体应用将由人、设备和业务之间的数字业务交互来定义,超过90%的企业都将开启自身在边缘计算中的独特应用。

3 云边端协同的信息处理框架与技术

边缘计算^[9]是在靠近物或数据源头的网络边缘侧,融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台架构,就近提供边缘智能服务,满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、智能应用、安全与隐私保护等方面的关键需求,可作为连接物理和数字世界的桥梁。边缘计算通过对人、物、业务等对象到数字对象的映射,实现物物在系统的连接和管理,边缘计算将云端的计算任务卸载到边缘环境中,解决了云在资源存储、计算性能以及能耗等方面存在的不足。边缘计算将移动终端的计算任务卸载到边缘云环境中,解决了设备在资源存储、计算性能以及能耗等方面存在的不足。

边缘计算具有速度、安全、网络、可靠和成本等5方面的优势。边不是云的替代技术,云边之间是协同的关系。在目前的大规模数据驱动的智能化应用条件下,云端对多种网络接口、协议与拓扑,业务实时处理与确定性时延,数据处理与分析,分布式智能,以及安全与隐私保护的支撑能力存在一定的不足。边缘计算通过将一部分可以由边缘端设备直接完成的计算任务从云端进行卸载,将计算任务进行细粒度化后分配到合适的边端节点,实现服务器硬件能力、数据的隐私保护、时延、计算资源与存储容量等方面的互补。

云边具有互补性关系。云计算更擅长全局性、非实时性、长周期的大数据处理与分析,在长周期维护、业务决策支撑等方面具有优势。边缘计算更适合局部性、实时、短周期数据的处理与分析,具有更强的支撑实时智能化决策与执行本地业务的能力。边缘计算既靠近执行单元,又是云端所需高价值数据的采集和初步数据处理单元,可以更好地支撑云端应用。云计算通过大数据分析,优化输出的业务规则和模型可以下发到边缘侧,边缘计算基于新的业务规则和模型进行执行,从而实现云边协同,达到计算和存储能力放大的目的。边缘计算产业联盟给出了边缘计算的定义^[9]:边缘计算是涉及与云的IaaS、PaaS和SaaS各层对应的ECIaaS、ECPaaS和ECSaaS 3层端到端全面协同的开放平台,基于该平台可以实现在资源、数据、智能、应用管理、业务管理和业务管理等6方面的协同。

边缘计算产业联盟给出了边缘计算的基础构成,定义了边缘层主要包括边缘管理器和边缘节点两部分。边缘管理器的主要功能是对边缘节点进行统一的管理。边缘节点是指硬件实体,是承载边缘计算业务的核心。根据业务侧重点和硬件特点不同,边缘节点包括:以网络协议处理和转换为重点的边缘网关,以支持实时闭环控制业务为重点的边缘控制器,以大规模数据处理为重点的边缘云,以及以低功耗信息采集和处理为重点的边缘传感器。边缘节

点一般具有计算、存储网络资源，边缘管理器以模型驱动的业务编排方式实现计算业务。

4 云边端协同的天空地一体气象信息处理与服务

4.1 需求分析

对于气象信息处理和服务业务来说，更完整的观测覆盖、更精细的观测质量、更智能的观测技术、更多样的观测领域、更精准的观测服务、更全面的观测内容是提高气象现代化水平，保证气象服务质量的基础。这些新的需求相应地对气象观测和产品加工及服务过程中的气象信息处理能力提出了新的要求。

一方面，当前气象分析数据的处理方法是数据集中全部上传至气象大数据云平台，气象产品加工和服务的制作在云端完成，制作过程需要借助超大规模、具有极强的运算能力的集群完成，并以分级的形式向外发布提供气象产品服务。据统计，中国气象局目前各类气象数据日均增长量总和达到76.63 TB，规模庞大的气象数据在计算和存储过程中被移动产生大量热能，电能消耗十分巨大。目前的“派”曙光系统具有高计算峰值能力，系统计算能力达到每秒8 189.5万亿次浮点运算，存储能力达到23 088 TB^[10]，然而其运行一年的电费超千万元。此外，集中的云上数据或产品的加工、存储会给应用带来巨大的通信压力和时延问题，尤其是在气象观测服务产品加工过程中加入社会化观测数据时，数据规模的庞大，以及计算过程的协同复杂，可能会进一步加大网络通信压力和时延问题。

另一方面，气象观测数据从台站传输到市、县气象局主要通过无线网络；从省、市向国家气象信息中心传输主要通过地面宽带网络。目前，无线网络传输能力相对较弱，连续的数据传输带来数据时延风险，分层分级的数据传输方式对于一些包含隐私信息的社会化观测数据的安全性可能带来潜在的威胁。此外，中国气象局卫星广播系统（CMACast）目前采用广播式下发数据，数据下发时是全集，未考虑局部地区特殊的气象产品需求^[11]。

4.2 体系架构

为实现观测精度的提升，在气象观测过程中加入社会化观测数据是很好的手段。通过将个人移动终端从智慧社区或智慧城市的监控采集的图像或视频数据，以及从水文、环保、能源、海洋、农业等其他行业采集的观测数据融入气象产品加工过程中，可以进一步解决目前观测不足的问题。社会化观测数据在气象产品加工过程中的融合处理和应用同时带来在社会观测数据中公众隐私信息存在泄露风险的问题。这里需要边缘终端设备执行特定的脱敏

预处理或加密任务，然后再进行观测数据的传输。此外，在社会化观测数据融入气象产品的加工过程中，其实不是所有的数据都是必需的，时间、经纬度、海拔、降雨、降雪、雾、晴等与气象产品相关的数据需要在边缘终端进行数据清洗和预处理后按需回传。这样做，一方面可以提升传输的数据质量和传输的数据有用性，降低网络负载；另一方面可以大幅降低云端对数据清洗和预处理的工作量，间接降低云端数据处理和计算压力。

针对气象领域，本文进一步归纳形成了模型驱动的云边端协同体系架构（如图1所示）和云边端协同的气象信息处理与服务架构（如图2所示）。在该体系下，应该包含：云边协同标准体系，定义了网络通信标准协议、数据定义标准协议、算法接口标准协议、服务接口标准协议等；云边协同业务体系，确定了国、省、市、县、站分层分级的业务编排规则；云边协同数据体系，制定了国、省、市、县、站分层分级的数据管理和存储策略体系；云边协同的技术体系，构建了以分布式存储与计算为基础，以算法中台、业务中台和数据中台为支撑的微服务编排和区块链体系。

4.3 核心技术

模型驱动的云边协同体系架构中包含的云边协同标准体系、云边协同业务体系、云边协同数据体系和云边协同技术体系的制定，参照并遵从了气象信息化标准体系框架，重点打造围绕数据采集、加工、存储、传输、分析、发布和应用等环节的平台技术。物到数的映射、网络、计算、存储资源管理，以及应用服务是构成模型驱动的云边协同体系架构的五大核心技术。

模型驱动的云边协同体系架构中物到数的映射即为数字孪生，是将物理世界中的气象观测设备、数据传输设备等边缘端设备，通过对其属性、特点、能力等方面的信息进行数字化描述形成相应虚拟模型，融入云边协同的管控体系中。针对国、省、市、县各级业务对不同的终端设备的执行任务要求以及对它们的计算与存储能力的需求不同，通过多层多角度元数据描述的方式实现对孪生设备的虚拟化管理。

在数据采集方面，本文根据端设备类型不同，归纳形成多种数据源对象类型，并形成统一的对象访问接口，进而实现面向多源数据的采集系统，针对多种数据源对象类型进行统一的数据采集及控制。针对现有观测站、各种数据终端存在多种数据传输协议问题，面向多源数据的采集系统向外提供多种协议的适配采集支持，以及接口的二次改造实现覆盖新的传输协议能力，使系统能够以统一的数据规范实现数据的采集。根据不同的

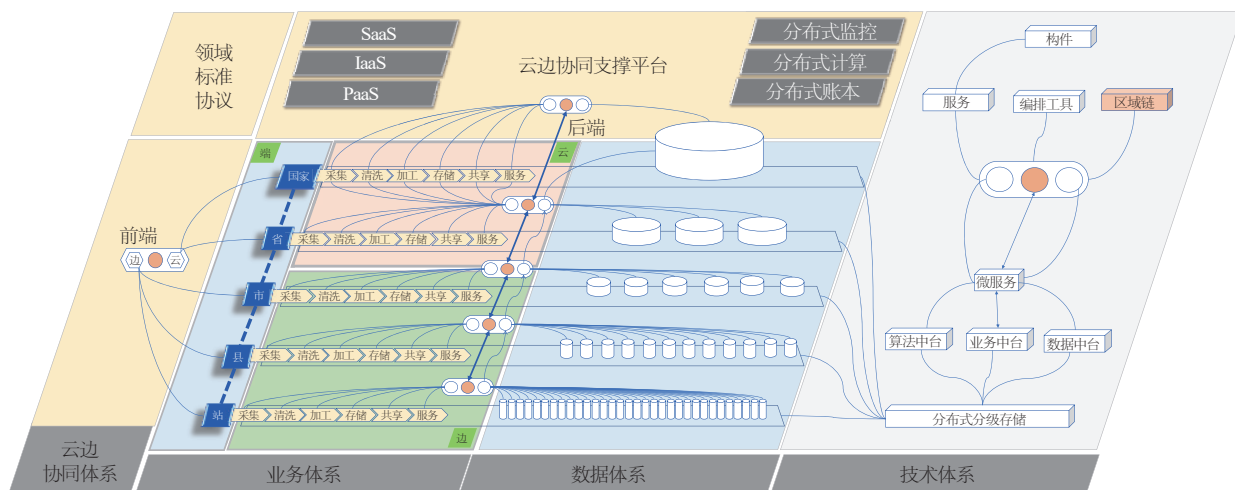


图1 模型驱动的云边端协同体系架构

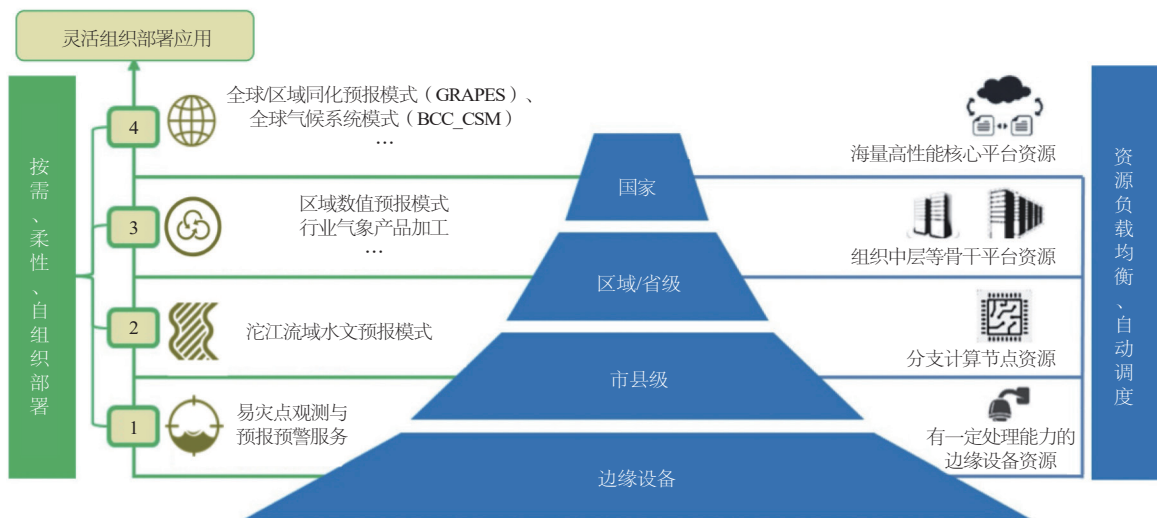


图2 云边端协同的气象信息处理与服务架构

数据格式，系统通过将对应数据类型的基础处理功能构件与其他完成高级数据加工和处理功能的构件进行组合，实现高度灵活的数据处理流程配置的目标。孪生设备除具备向外传输默认的定制化数据加工流程处理后的数据能力之外，还支持配置数据采集和过滤等数据加工策略，在端处将数据按照动态下发部署的任务进行处理后再向外传输。这样可以实现按需回传数据，提升回传数据质量，提高数据可用性，间接实现传输数据的压缩，分担云端集中式数据计算和处理压力。

面向多样的数据传输协议，为保证数据调度子系统数据传输安全、高效、可靠，需要构建能够实现跨地域的数据高速传输系统。系统基于数据封装与调度，向外提供数据服务接口，为气象行业应用提供高效、稳定的

数据传输能力。在云边端的数据传输过程中，系统应提供多线程传输、断点续传、自动重传、多形式传输等多种数据传输模式，提供对HTTP、MQTT、Bluetooth、AMQP等多种传输协议的支持，保障数据传输的高效和可靠。为提高边与边的数据共享能力，应提供基于P2P的数据传输，以实现边与边设备间直接的数据共享，减少云端服务器压力，提高数据传输速度。

为实现边端动态近数据端计算任务的快速部署，应支持计算任务以镜像的方式进行封装，在云端形成面向特定需求的计算任务镜像仓库，边端节点根据云端下发的计算任务指令，从云端主动拉取依赖的计算任务镜像；也应该支持由云端主动推送相关计算任务到边端。同时，基于这种边端按需主动拉取计算任务或被动接收

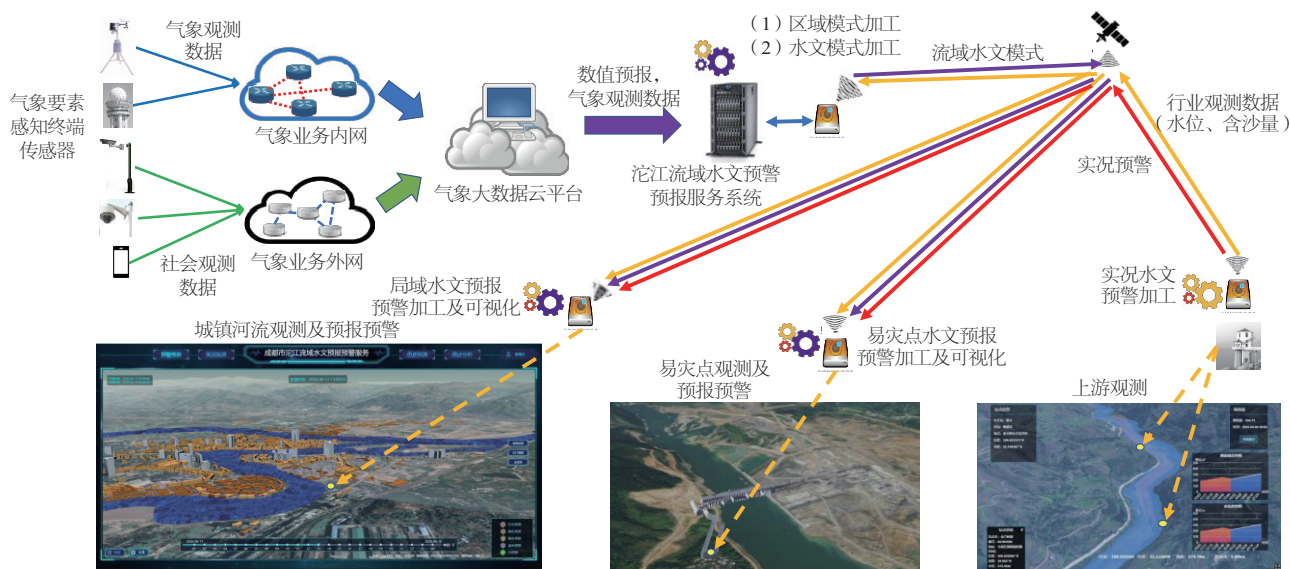


图3 云边端协同的天空地一体沱江流域水文预报预警服务模型应用场景及流程

推送的计算任务的模式，结合分层分级部署与协同运行的思想，最终实现云边协同数据处理和计算。边缘节点在局部区域内形成分布式计算环境，根据近数据端计算任务要求，以及周围孪生终端设备的基础情况，系统动态协调计算资源，实现边缘节点的协同。例如对数据进行过滤、聚合或语义解释等边缘计算任务，可通过边缘节点协同快速完成，提升数据返回效率。

为实现存储环境搭建的成本降低，以及存储资源的合理调配和使用，可以搭建基于分级存储策略可配置的大规模分布式存储系统，实现在保证系统整体访问性能的同时又控制存储成本的海量数据高效存储系统。系统通过向客户端提供一种全局透明的存储视图，实现在系统内部根据预先制定的分级策略，透明地动态迁移目标访问数据；通过可视化的方式实现整个系统的管理和整体运行情况监控；通过观察系统各项性能指标的动态变化规律，调整分级存储策略的参数。

为实现分层分级的气象监测信息传输和管理，并实现云边协同数据处理过程的可视化管控，应构建云边协同的一体化管控系统。对于数据传输的状态情况、数据处理的计算情况，做到实时查看、实时监管。通过云边协同的一体化管控系统为增值网络业务提供计算、存储、网络、虚拟化等基础设施资源的协同管控能力，以及对边缘节点设备的协同管理能力。

5 应用场景与案例

以沱江流域水文预报预警服务模型应用为案例场景，阐述本文提出的云边端协同的天空地一体气象信息

处理及智能服务架构与技术。基于云边端协同的天空地一体气象信息处理及智能服务架构与技术，在沱江流域精准站点的水文预报预警服务模型建立的过程中，将实况水文数据（如水位、含沙量等），区域模式数据（如四川区域模式数据）和水文模式数据（如沱江流域的水流速度和径流量）混合建模，实现基于规则的多要素多模态监测预警。图3展示了云边端协同的天空地一体沱江流域水文预报预警服务模型应用场景及流程。

对于实况水文数据，将在终端观测时即根据报警阈值规则，实现判断是否达到报警标准。如果已达到报警阈值，则立即将报警信号发送到周边站点，并同时发送观测数据到服务器。如果未达到报警阈值，则仅传输观测数据到服务器，而不是将全部数据传回云端判断，这将提升预警的时效性。

对于区域模式加工数据，将在服务端借助高性能服务器对数值预报产品数据进行粗加工，因数值预报是全国模式，需要加工处理成区域模式，缩小网格范围，进而提高网格密度。将加工后的产品与其他观测数据相融合，生成沱江流域流速和径流量产品，最终形成满足局域特征的水文和易灾点水文预报预警及可视化服务。

参考文献：

- [1] 中国天气网. 天地空一体化的气象综合观测体系悄然形成[EB]. 2017.
China Weather Network. A comprehensive meteorological observation system integrating space, earth and space has quietly

- formed[EB]. 2017.
- [2] 中国新闻网. 风云气象卫星事业发展50年: 精测风云变幻 服务生产生活[EB]. 2020.
China News Network. Fifty years of development of Fengyun meteorological satellites: Accurately measuring the changes of Fengyun, servicing production and life[EB]. 2020.
- [3] 环球网. 走近天气预报员 (深度观察) [EB]. 2020.
World Wide Web. Approaching the weather forecaster (in-depth observation) [EB]. 2020.
- [4] ZBIGNIEW J. Introduction to Parallel Computing[M]. Cambridgeshire : Cambridge University Press. 2016.
- [5] MICHAEL A, ARMANDO F, REAN G, et al. A view of cloud computing[J]. Communications of the ACM, 2010, 53(4):50-58.
- [6] MAO Y Y, YOU C S, ZHANG J, et al. A survey on mobile edge computing: The communication perspective[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(4): 2322-2358.
- [7] PAVEL M, ZDENEK B. Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(3): 1628-1656.
- [8] Garnter. Gartner top 10 strategic technology trends for 2019[EB]. 2020.
- [9] 边缘计算产业联盟. 边缘计算IT基础设施白皮书1.0 (2019) [EB]. 2019.
Edge Computing Industry Alliance. Edge Computing IT Infrastructure White Paper 1.0 (2019) [EB]. 2019.
- [10] 中国兴农网. “派-曙光” 在气象部门启动业务化应用[EB]. 2020.
China Xingnong Network. "Pai-Suguang" launched a commercial application in the meteorological department [EB]. 2020.
- [11] 刘然, 李春来, 蒋克俭, 等. 浅谈中国气象局卫星广播系统

(CMACast) 的设计[J]. 卫星与网络, 2013(7): 42-49.

LIU R, LI C L, JIANG K J, et al. Talking about the design of China Meteorological Administration Satellite Broadcasting System (CMACast) [J]. Satellite & Network, 2013(7): 42-49.

[作者简介]



舒红平 (1974-), 成都信息工程大学软件工程学院教授, 主要研究方向为软件开发平台与工具、大数据和人工智能等。



唐旺 (1994-), 成都信息工程大学电子信息工程学院硕士生, 主要研究方向为电子信息、边缘计算和人工智能等。



罗飞 (1977-), 成都信息工程大学软件工程学院副教授, 主要研究方向为气象信息化技术、数据库与数据挖掘、云计算与大数据技术等。



赵卓宁 (1972-), 成都信息工程大学软件工程学院教授, 主要研究方向为软件自动生成与智能服务、数据集成与可视化、气象信息化技术等。



王亚强 (1984-), 成都信息工程大学软件工程学院副教授, 主要研究方向为自然语言处理、机器学习及领域应用等。