

基于分布式技术的气象大数据共享服务系统设计与实现

雷 鸣¹ 陈凯华¹ 武国良¹ 李庆博² 李宝桐² 姜罕盛¹

¹(天津市气象信息中心 天津 300074)

²(南京恩瑞特实业有限公司 江苏 南京 210000)

摘 要 随着气象数据的不断增长及气象服务现代化要求的提升,原有省级 CIMISS 系统已经无法满足业务需求。为了解决系统动态扩展能力不足、实时查询性能低下等问题,分别利用分布式网格存储系统和分布式数据库,以及分布式文件系统和 NAS 技术,构建基于分布式技术的气象大数据共享服务系统,实现结构化数据和半/非结构化数据的存储、共享和管理,并实现与 CIMISS 系统无缝对接。实践证明,该方案能极大提升 CIMISS 系统的数据存储能力,且并发响应能力强。相同条件下,查询性能提升 22 倍以上,能够有效满足未来气象业务对数据服务的要求。

关键词 数据共享 CIMISS 分布式数据库 分布式文件系统 关系数据库

中图分类号 TP3 **文献标志码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2022.07.001

DESIGN AND REALISATION METEOROLOGICAL BIG DATA SHARING SERVICE SYSTEM BASED ON DISTRIBUTED TECHNOLOGY

Lei Ming¹ Chen Kaihua¹ Wu Guoliang¹ Li Qingbo² Li Baotong² Jiang Hansheng¹

¹(Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin 300074, China)

²(Nanjing Enright Industrial Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu, China)

Abstract With the continuous growth of meteorological data and the improvement of meteorological service modernization requirements, the original provincial CIMISS system is unable to meet the business needs. In order to solve the problems of insufficient dynamic expansion ability and low real-time query performance of the system, this paper used the distributed grid storage system, the distributed database, the distributed file system and NAS technology respectively to build the meteorological big data sharing service system based on the distributed technology. The system realized the storage, sharing and management of structured data and semi/unstructured data, and realized the seamless connection with CIMISS system. It has been proved that this scheme can greatly improve the data storage ability of CIMISS system and has strong concurrent response ability. Under the same conditions, the query performance is improved by more than 22 times, which can effectively meet the requirements of future meteorological services for data services.

Keywords Data sharing CIMISS Distributed database Distributed file system Relational database

0 引 言

全国综合气象信息共享系统(CIMISS)是由国家气象信息中心于 2009 年组织建设,集数据收集、分发、处理、存储和共享于一体。2013 年,该系统推广部署

在全国各省级气象数据中心,为各省级部门提供了良好的气象数据服务和业务支撑^[1-3]。

但是近年来,随着气象业务的不断拓展以及数据量的不断增加,现有省级 CIMISS 的数据处理能力已经显得不足,特别是数据的响应速度和存储能力,已无法满足现有的数据服务要求。截至 2019 年,CIMISS 系

统存储的气象数据已经超过 31 亿条,存储的数据量已达 46.5 TB,且仍以每天 40.1 万条、62.2 万个文件、118.3 GB 的数据量不断增长。CIMISS 的数据存储能力已经无法满足业务要求。

1 现状与需求

目前,CIMISS 业务应用系统间的数据交换和文件存储,都是基于共享文件系统 GPFS (General Parallel File System) 实现,从而达到所有节点(在资源组内的)均能并行访问整个文件系统。

支撑 CIMISS 系统运行的后台则使用的是 Oracle RAC 数据库、TonglinkQ 消息中间件和 MapGIS DCServer 服务管理器,而其核心则是 Oracle 数据库。对于地面、高空等结构化的气象数据,Oracle 透过数据表存储其要素值^[4-5];对于数值模式产品、雷达资料等非结构化数据,Oracle 则仅存储文件对应的元数据和索引,再透过 GPFS 系统实现文件的存储管理^[6-8]。

现有气象服务对数据的快速响应要求越来越高,而由于 GPFS 动态扩展能力较弱、Oracle RAC 数据库节点较少(省级仅 2 个)、硬件设备陈旧等诸多原因,导致现有 CIMISS 无法较好满足气象服务对数据的敏捷性要求,特别是在长序列历史资料的影响上面。因此,对气象业务,诸如天气过程回溯分析、气候预测等支撑能力不足^[9-11]。

在今天的数字化时代,云计算、互联网、社交媒体、大数据的发展使得数据量呈现爆炸式增长。传统存储在应对这些海量数据需求时,面临着诸多挑战,已经很难满足不断增长的数据需求,包括超大规模的横向扩展、越来越高的性能要求、数据长期存储的可靠性、统一资源池的管理、更低的 TCO 总体拥有成本等,而且传统存储的软硬件紧耦合方式,也限制了硬件迭代的速度、选型的灵活性。

2 系统设计

随着科学技术的发展,特别是大数据存储技术的长足进步,涌现很多分布式技术的解决方案,并在相关行业取得了较好的效果^[12-16]。

因此,考虑利用可靠成熟的分布式存储技术,进行天津市气象局气象数据共享服务系统的设计与实现,如图 1 所示。即通过分布式文件系统和分布式数据库来分别提升气象数据的储存管理能力与数据的服务和支撑能力,并与 CIMISS 系统实现无缝对接。

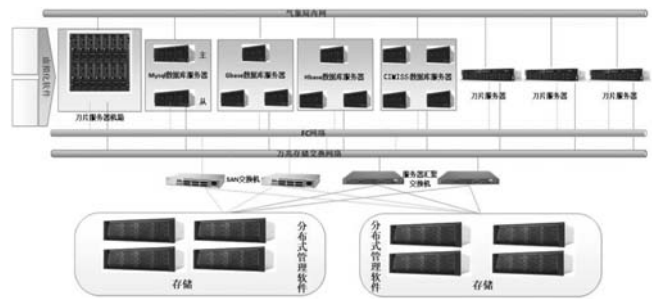


图 1 天津市气象局大数据中心物理架构

2.1 分布式文件系统

分布式文件系统(Hadoop Distributed File System, HDFS)被设计成适合运行在通用硬件上的文件系统。它与现有的分布式文件系统有很多共同点。但同时,它与其他分布式文件系统的区别也比较明显。HDFS 是一个高度容错性的系统,适合部署在廉价的机器上。同时,因为 HDFS 放宽了一部分 POSIX 约束来实现流式读取文件系统数据的目的,从而获取数据访问的高吞吐量,非常适合大规模数据集上的应用。它所具有的高容错、高可靠性、高可扩展性、高获得性、高吞吐率等特征为海量数据提供了不怕故障的存储,为超大数据集的应用处理带来了便利。

因此分布式文件系统可以有效解决数据存储和管理的难题,将整个分布于不同网络节点的数据资源统合成为一个高度集约化的数据中心^[17-18]。从而极大便利业务应用系统的使用,而无须关心数据存储在何处。

同时,透过网络附属存储(Network Attached Storage, NAS)技术,提供数据共享服务。在 NAS 存储结构中,存储系统不再通过 I/O 总线附属某个特定的服务器或客户机,而是直接通过网络接口与网络相连,便于用户访问或管理数据。NAS 实际上是一个带有瘦服务的存储设备,能够大大降低存储设备的成本,并有效地保护数据。

2.2 分布式数据库系统

分布式数据库系统(DDBS)包含分布式数据库管理系统(DDBMS)和分布式数据库(DDB)。它将分布于不同的局部数据库中存储、由不同的 DBMS 进行管理、在不同的机器上运行、由不同的操作系统支持、被不同的通信网络连接在一起的数据进行统合,形成一个逻辑上统一的数据库。这与 Oracle RAC 共享缓存和磁盘机理不同,分布式数据库将所有开销分摊于网络上多个节点,从而获得更大的数据服务和存储能力。而且分布式数据库系统能方便地把一个新的节点纳入系统,不影响现有系统的结构和系统的正常运行,提供了逐渐扩展系统能力的较好途径,有时甚至是唯一的

途径^[19-20]。

同时,所有数据的出入均通过 CIMISS 的气象数据统一服务 MUSIC 接口 (Meteorological Unified Service Interface Community) 提供数据共享服务。因此,无论对于气象数据用户还是业务应用而言,均是无影响、无感知的。

气象数据大致可以分为结构化和半/非结构化数据。前者数据结构化程度高,数据结构固定,如站点数据,故采用关系数据库形式对此类数据进行存储,简化了数据存储逻辑,有利于提高数据存取效率以及分析速度。考虑到数据中心需要存储海量数据,故结构化数据需要在存储集群内进行分库分表存储,以保障数据库的并发性能。关系数据库以数据来源(如雷达站、基准设备)进行分库存储,各个数据存储节点采用 GBase 8a、GBase 8t 等高性能数据库,保证在大数据场景下能够实现数据的高效存取。

针对半/非结构化气象数据,采用 HBase 分布式数据库存储和气象数据分块压缩技术,进行气象数据存储和处理。数据分块压缩技术路线如图 2 所示。

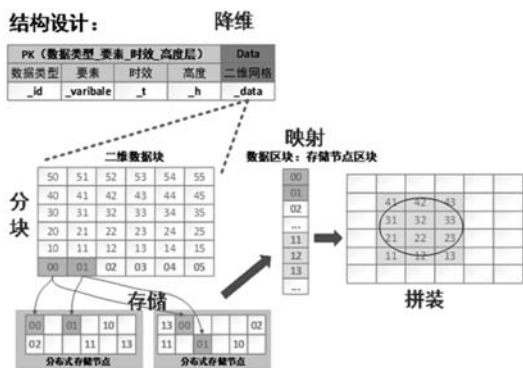


图 2 数据分块压缩技术路线

所涉及的各个数据库和任务分工,如表 1 所示。

表 1 天津市气象局数据存储分类表

分类	存储技术	针对的气象应用	数据响应时效
表格系统	分布式网格存储系统 (HBase)	天气实时应用 (实况、预报)	毫秒级
数据库	分布式关系型数据库 (MySQL)	站点数据存储检索	秒级
	分布式分析型数据库 (GBase)	气候长序列在线分析	
文件存储	分布式 NAS	雷达、卫星、数值模式等气象文件存储	实时;秒级 历史:10 秒级
日志存储	ElasticSearch	监控日志存储分析	秒级

2.3 数据架构设计

系统的数据架构设为四层结构,如图 3 所示,分别为数据采集层、数据处理层、数据存储层和数据服务层。



图 3 整体数据架构设计图

(1) 数据采集层。在最底层的数据源层将数据主要分为站点数据、格点数据和产品数据三大类,依靠数据传输系统分别将数据传输至数据采集层,数据传输系统分别支持 FTP、SFTP、HTTP、FILE 四种数据通信协议,在传输过程中支持对数据的重命名、解压缩处理等基本数据预处理功能。

(2) 数据处理层。数据采集层负责进行数据入库前的站点数据以及格点数据标准化处理,同时按照存储设计规范进行入库。数据在数据采集层按照气象业务分为结构化数据、文件数据、在线消息和日志及其他非标准数据四类,通过消息队列缓存机制及多机集群配置进行统一数据分布式处理。数据经过清洗和解析按照基础数据清洗规则、站点数据解析协议、格点数据解析协议、非结构化数据解析协议形成可入库管理的数据流,通过数据存储适配后,进入相应的数据存储组件汇总,如图 4 所示。



图 4 数据处理层数据流向

(3) 数据存储层。在数据存储层根据数据存取的频繁度将数据分为冷数据和热数据。

站点数据处理流程:通过实时解析到 MySQL 库后,利用日志同步机制实时同步到 GBase 数据库中。

格点数据处理流程:通过实时解析到 HBase 数据库,通过将 RowKey 存储 Elasticsearch (ES) 中实现快速寻址,快速获取得到需要查询的数据,提高对格点数据的查询效率。

ES 是一个实时的分布式搜索和分析引擎,可以快速处理大规模数据。常用于全文搜索、结构化搜索及

分析,主要被用来存储有聚合及筛选的热数据,如:存储近几年的站点数据和格点数据索引,方便搜索及聚合查询。

HDFS 主要用作数据仓库,存放格点数据文件的冷数据,即超过一年或不常用的数据。HDFS 是分布式文件系统,应用它一次写入、多次读出的场景特性,当数据服务需要使用这部分冷数据时,可直接通过 ES 快速获取文件找到对应数据解析后返回结果并存储到 HBase 组件中。

Kafka 主要用来实现热数据的缓存,以减少数据处理过程中的缓存压力。

为了有效应对气象数据种类多、增长迅速的特点,将热数据存储层设为第一级,冷数据存储设为第二级。同时,将超过 1 年的数据存储在 H3C 中,设为第三级。利用 H3C 优秀的存储性能进行存储管理。

(4) 数据服务层。在数据服务层与 MUSIC 接口服务系统融合,通过统一的 MUSIC 接口提供对格点和站点数据的查询、更新服务及实时数据的订阅服务。

MUSIC 是跨平台、多语言、多协议,为应用系统提供直接支撑服务。它将多源的数据组合在一起,形成一个统一、规范的出口,提供服务。

通过接口(API),实现应用与数据解耦,保障前端应用系统稳定,不受后端异构数据环境干扰、实现技术变化无影响。从而实现数据管理与应用分离,接口保持稳定不变。其结构示意图如图 5 所示。



图 5 MUSIC 接口服务支撑架构

3 实践与测试

目前,GBase 数据库中入库了所有建站以来的数据,库中共有 155 281 334 700 条记录。为了检验系统性能,特针对站点结构化数据进行数据查询的性能测试:发挥查询聚合的性能,利用 MPP 并行数据库优势,使用分片分布式的特长,采用分治法计算长时间的数据聚合请求。分别统计天津各站点一定时间内的小时平均气温与累计降雨。各项性能如表 2 所示。

表 2 站点数据查询性能测试表

时间	聚合类型	筛选聚合数据量	Oracle/s	GBase/s
1 年	平均气温	538 136	8.754	1.126
1 年	累计降雨	493 301	7.787	1.044
5 年	最高气温以及站点	2 906 224	9.025	1.730
5 年	累计降雨	2 758 248	12.946	1.862
10 年	最低气温以及站点	6 223 763	48.175	2.319
10 年	累计降雨	6 224 712	49.154	2.204

目前,CIMISS 统计天津所有站点过去 1 年内的平均气温需要 8.7 s,而通过 GBase 数据库建设,统计过去 1 年平均气温大概需要 1.1 s,性能比现有 CIMISS 提升 7 倍左右,而随着数量的进一步增大,性能提升的优势更加明显,甚至高达 22 倍以上。

针对格点数据,为了提升查询性能,特别使用 ES 作为数据检索,发挥查询聚合的性能;使用 HBase 作为点位数据存储,发挥 IO 的性能;为了减少传输的时间,将 JSON 结果集数组化为相应的经纬度矩阵,将矩阵写入.csv 文件后压缩成.tgz 文件返回给前端。

通过模拟过去 2 个月欧洲中心全部数据,数据环境总大小约 7 409 247 350 个格点数,获得如表 3 所示测试结果。

表 3 格点数据查询性能测试表

查询范围	层数	要素	间距	点位	原数据/MB	压缩后/MB	压缩率/%	查询用时/s	压缩用时/s
经度 60°~150° 纬度 -10°~60°	19	DEPR	0.25	1 927 379	14.895 6	7.813 1	47.55	0.341	0.098
经度 60°~150° 纬度 -10°~60°	19	EDA	0.25	1 927 379	13.631 1	5.213 2	61.76	0.371	0.084
经度 60°~150° 纬度 -10°~60°	10	EDA	0.25	1 014 410	6.756 4	2.598 2	61.54	0.241	0.058
经度 60°~150° 纬度 -10°~60°	10	KI	0.25	1 014 410	8.869 2	4.811 5	45.75	0.252	0.097

续表 3

查询范围	层数	要素	间距	点位	原数据/MB	压缩后/MB	压缩率/%	查询用时/s	压缩用时/s
经度 60° ~ 180° 纬度 -10° ~ 60°	null	TMP	0.125	539 121	4.924 5	1.655 0	66.39	0.240	0.033
经度 60° ~ 150° 纬度 -10° ~ 60°	5	EDA	0.25	507 205	3.794 3	1.286 0	66.11	0.180	0.031
经度 60° ~ 150° 纬度 -10° ~ 60°	1	EDA	0.25	101 441	3.736 6	1.286 3	65.58	0.134	0.015

现状对比:采用天津 1 km 网格 6 个月历史数据进行性能测试,结果表明查询数据可在 0.3 s 内到达应用终端,与格点数据在天津市局一体化平台中的应用相比,性能提升了 5 倍左右。针对温度和阵风的详细查询测试情况如图 6 和图 7 所示。

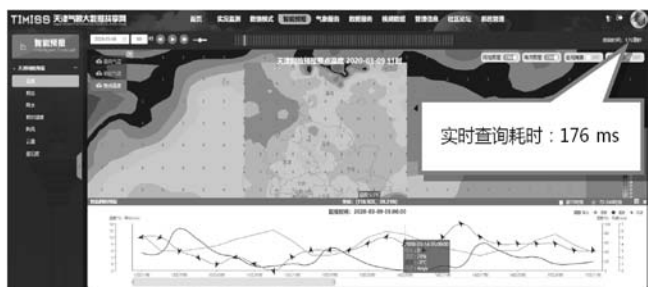


图 6 天津网格预报整点温度查询显示



图 7 天津网格预报整点阵风查询显示

4 结 语

结合气象业务需求,本文在不改变现有业务系统和系统架构的基础上,实现与省级 CIMISS 系统的无缝对接,并通过原有 CIMISS 传统气象数据服务性能与现有分布式技术架构下的气象数据服务性能的对比分析,可以明显看到,基于分布式技术的气象数据共享服务系统具有更卓越的优势:数据聚合能力强,其并行性、安全性和可靠性更高。而且分布式存储技术具有良好的横向扩展能力,非常适合应用于数据范围和数据维度随着时间不断增长的行业需求。

目前,作为有效支撑天津市局 CIMISS 气象数据服务系统的关键功能组件,分布式数据库系统与分布

式文件系统已经通过性能测试和功能测试,为数据服务实时性要求较高的气象业务提供了有力保障,并随着气象业务的发展不断完善和优化。

参 考 文 献

- [1] 赵芳,熊安元,张小纓,等. 全国综合气象信息共享平台架构设计技术特征[J]. 应用气象学报,2017,28(6):750-757.
- [2] 熊安元,赵芳,王颖,等. 全国综合气象信息共享系统的设计与实现[J]. 应用气象学报,2015,26(4):500-512.
- [3] 马渝勇,徐晓莉,宋智,等. 省级气象信息共享系统的设计与实现[J]. 应用气象学报,2011,22(4):505-512.
- [4] 王旻燕,邓莉,赵芳,等. CIMISS 中气象卫星数据存储和服务模型[J]. 安徽农业科学,2012,40(8):4785-4789.
- [5] 沈文海,赵芳,高华云,等. 国家级气象资料存储检索系统的建立[J]. 应用气象学报,2004,15(6):727-736.
- [6] 钱建梅,孙安来,徐喆,等. 风云气象卫星数据存档与服务系统[J]. 应用气象学报,2012,23(3):369-376.
- [7] 李集明,沈文海,王国复. 气象信息共享平台及其关键技术研究[J]. 应用气象学报,2006,17(5):621-628.
- [8] 季永华,孙超,刘一鸣,等. CIMISS 中气象观测资料处理入库效率优化方法[J]. 气象科技,2017,45(1):30-35.
- [9] 周晓丹. 基于 Oracle RAC 平台的海量数据 DML 处理性能的研究[D]. 厦门:厦门大学,2007.
- [10] 周晓丹,冯少荣,薛永生. Oracle 10g RAC 核心技术与分析[J]. 计算机工程,2007,33(7):53-55.
- [11] 姜召凤. Oracle RAC 数据库缓存优化方法研究[D]. 大连:大连海事大学,2009.
- [12] 宋智,徐晓莉,张常亮,等. 应用分布式存储技术优化省级 CIMISS 数据服务能力[J]. 气象科技,2019,47(3):433-438.
- [13] 李波,杜景林,李正方. 基于 SOA 的气象数据共享平台研究[J]. 电子设计工程,2019,27(4):25-29.
- [14] 吴燕波,薛琴,向大为,等. 云平台下的 NoSQL 分布式大数据存储技术与应用[J]. 现代电子技术,2016,39(9):44-47,52.

为验证 SVM 生成 BPA 对提高 D-S 温室融合决策性能的作用,分别利用单一修正 D-S、SVM-DS 和 SVM-修正 DS 对采集得到的数据进行实验对比分析,结果如图 4 所示。利用单一修正 D-S 方法得到的结果平均准确率为 0.73,利用 SVM-DS 得到平均准确率为 0.81,SVM-修正 DS 结果准确率为 0.90。通过实验可知本文提出的基于 SVM 与修正加权 D-S 融合方法对温室环境进行决策时,能快速得到准确结果,融合决策准确率远高于单一修正 D-S 方法与 SVM-传统 DS 方法。

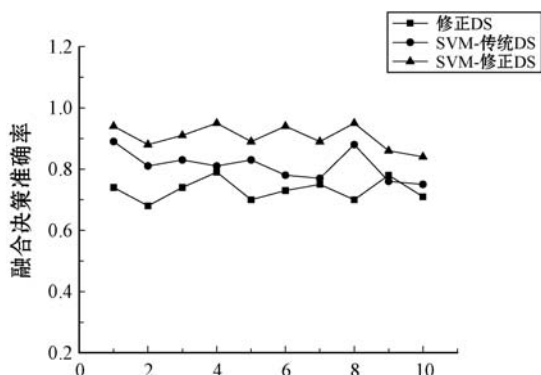


图 4 单一修正 DS、SVM-DS 与 SVM-修正 DS 融合结果准确率

4 结 语

针对温室智能控制决策问题,本文提出结合 SVM 与修正 D-S 理论的方法利用温室中温度、湿度、光照强度和 CO_2 浓度等数据信息,结合 SVM 模块将输出结果经由权值改进后进行加权融合,从而得出决策结果。本方法有如下特点:利用 SVM 分类算法构造了 BPA 基本概率分配函数,为其后 D-S 融合提供可靠的概率赋值;引入多特征参数间的支持度、相关度和可靠度来共同确定各证据权重,对 D-S 权值进行修正以降低证据间的冲突问题;在考虑温室环境中的多特征耦合的情况下,由修正权值 D-S 融合,充分利用温室环境中的各特征参数(温度、适度、光照强度和 CO_2 浓度),使得决策结果更有效。本文方法与传统 DS-SVM 对比,显著提高决策平均准确率,并验证了多源信息融合在温室环境决策控制中的有效性。

参 考 文 献

[1] 刘亚伟,薛鹏. 基于模糊自适应 PID 控制的温室大棚控制策略研究[J]. 科技与创新,2018(4):41-43.
 [2] 胡瑾,田紫薇,汪健康,等. 基于离散曲率的温室 CO_2 优化调控模型研究[J]. 农业机械学报,2019,50(9):337-346.

[3] 王曦,汪小志,林卫国. 基于神经网络的温室光环境调控模型改进研究[J]. 中国农机化学报,2016,37(6):69-73,109.
 [4] Montoya A P, Guzmán J L, Rodríguez F, et al. A hybrid-controlled approach for maintaining nocturnal greenhouse temperature: Simulation study[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2016, 123:116-124.
 [5] 毛罕平,晋春,陈勇. 温室环境控制方法研究进展分析与展望[J]. 农业机械学报,2018,49(2):1-13.
 [6] Wang G, Wu Z, Zhang X, et al. A double correction of DS evidence theory for information authenticity screening[C]// 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC). IEEE, 2019: 1470-1474.
 [7] 蒋雯,张安,杨奇. 一种基本概率指派的模糊生成及其在数据融合中的应用[J]. 传感技术学报,2008(10):1717-1720.
 [8] Jousselme A L, Grenier D, Bossé é. A new distance between two bodies of evidence[J]. Information fusion, 2001, 2(2): 91-101.
 [9] 张志,杨清海. 基于 BP 神经网络和改进 D-S 证据理论的目标识别方法[J]. 计算机应用与软件,2018,35(3):151-156.
 [10] Wang Y, Zhang K, Deng Y. Base belief function: an efficient method of conflict management[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019, 10(9): 3427-3437.
 [11] Platt J. Probabilistic outputs for support vector machines and comparisons to regularized likelihood methods[J]. Advances in large margin classifiers, 1999, 10(3): 61-74.

(上接第 5 页)

[15] 周江,王伟平,孟丹,等. 面向大数据分析的分布式文件系统关键技术[J]. 计算机研究与发展,2014,51(2):382-394.
 [16] 董乾豪. 通用可扩展的分布式文件系统性能测试框架研究与实现[D]. 南京:南京大学,2016.
 [17] 梁心雄,徐美红,罗胜平. 基于 IBUS 实现省级气象共享数据中心方法研究[J]. 计算机技术与发展,2016,26(4): 148-152,157.
 [18] 李涛,刘寰,李亚玲,等. 省级气象资料传输监控平台的设计及实现[J]. 计算机与现代化,2019,8(1):117-120,126.
 [19] 赵致格. 分布式数据库系统的概念与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
 [20] 张晋连. 数据库原理及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2012.