

# 气象大数据分布式存储设计与实现

雷 鸣

(天津市气象信息中心,天津 300074)

**摘 要:**随着气象数据种类、数量日益繁多,范围尺度越来越大,在海量气象数据场景下,无论传统数据库还是文件系统技术的查询和存储方式都不能很好地满足气象数据的高性能查询要求。基于大数据技术,以关系型数据存储、分布式 NoSQL 数据库存储、网格存储系统和分布式 NAS 存储相结合的混合云存储架构为基础,搭建了统一数据集、处理和服务的省局气象数据中心,有效实现了数据的共享,流程的高度集约,并利用全国气象 MUSIC 接口进行统一的对外数据服务。实验表明,该方案不但能够有效与旧有 CIMISS 存储系统无缝衔接,做到应用与数据分离,使用户对后台数据源的变动零感知,而且查询性能得到了较大提高,与传统存储相比,结构化数据的查询性能提升 7.6 倍以上,且随时间增长,优势会更加明显,非结构化数据的查询性能则提升了 5 倍多。

**关键词:**大数据;分布式数据库;CIMISS;NAS;文件存储

中图分类号:TP399

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)05-0193-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.05.033

## Design and Implementation of Distributed Storage of Meteorological Big Data

LEI Ming

(Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin 300074, China)

**Abstract:** With the increasing variety, quantity and scale of meteorological data, the query and storage methods of both traditional database and file system technology cannot meet the requirements of high-performance query of meteorological data. Based on big data technology and a hybrid cloud storage architecture combining relational data storage, distributed NoSQL database storage, grid storage system and distributed NAS storage, we build a provincial meteorological data center with unified data set, processing and service, effectively realizing data sharing and highly intensive process, and use the national meteorological music interface for unified external data services. The experiment shows that the proposed scheme can not only connect with the old CIMISS storage system seamlessly, separate the application and data, and make users have zero sense of the change of background data source, but also improve the query performance greatly. Compared with the traditional storage, the query performance of structured data can be improved by more than 7.6 times, and with the increase of time, the advantages will be more obvious. The query of unstructured data query performance has been improved by more than 5 times.

**Key words:** big data; distributed database; CIMISS; NAS; file storage

## 0 引 言

随着信息技术的进步,以及互联网和科学数据分析等领域的快速发展,每年数据量近乎在成倍增长,人类社会已进入大数据的时代<sup>[1-2]</sup>。而随着气象数据种类、数量日益繁多,范围尺度越来越大,在海量气象数据场景下,无论传统数据库还是文件系统技术的查询和存储方式都不能很好地满足气象数据的高性能查询要求。因为气象数据不仅要在高并发情况下高速存储,同时还需要在毫秒级的时间内提供数据产品服务,

而传统关系类数据库因为一致性约束不能提供大数据要求的高强度采集和存储需求,且维护比较困难、查询效率低下<sup>[3-4]</sup>。同时,现有支撑省级业务的 CIMISS 系统的数据处理能力不足,尤其是数据的存储能力和响应速度,已不能满足现有的数据服务要求<sup>[5]</sup>。

随着大数据时代的到来,低成本、高效率的数据存储方式逐渐受到关注,将分布式文件系统作为大数据存储载体,是当前大数据存储领域相关技术的重点关注方向<sup>[6-10]</sup>。

收稿日期:2020-05-29

修回日期:2020-09-29

基金项目:国家自然科学基金项目(41575156);天津市气象局科研项目(201914ybxm12)

作者简介:雷 鸣(1976-),男,博士,高级工程师,研究方向为大数据应用、计算机图像匹配。

基于以上原因,参照大数据技术在各行业中的成功应用<sup>[11-14]</sup>,利用分布式技术、按照集约化原则,构建天津省级气象大数据服务中心。

## 1 系统架构

### 1.1 系统总体架构

考虑到利旧和核心业务数据难以动迁的实际问题,拟采用关系型数据存储、分布式 NoSQL 数据库存

储、网络存储系统和分布式 NAS 存储相结合的混合云存储架构。整体系统架构如图 1 所示。

系统涵盖了数据采集、数据存储到数据发布的整个流程。其中,公有云和私有云构成了混合云的架构。因为气象数据涉及安全性,目前,公有云上更多的是利用强大的计算资源,进行 AI 气象智能产品的研发和计算。更多的数据存储和核心功能都集中在私有云当中。

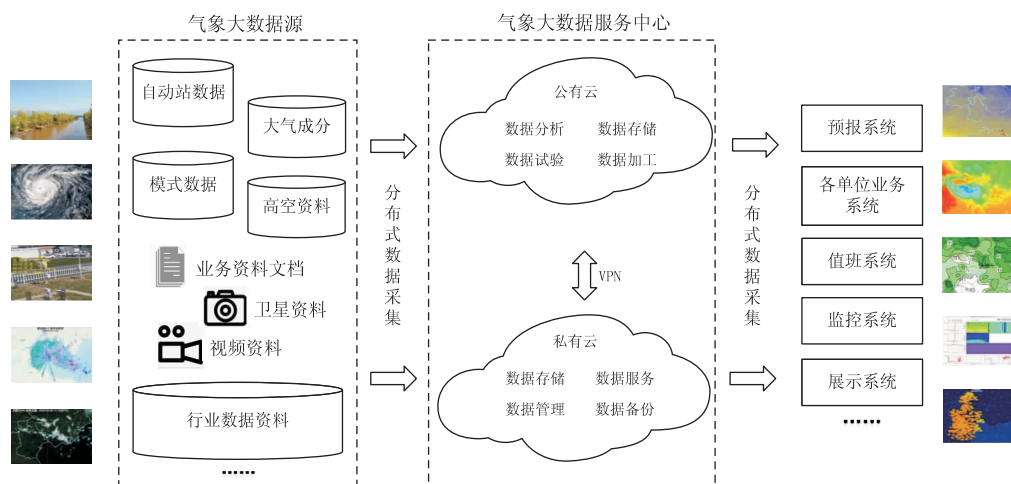


图 1 系统总体架构

### 1.2 系统物理架构

目前,天津省级气象大数据服务中心的私有云存储主要由两部分组成:虚拟机与物理机,共计 25 台服

务器,物理机 7 台,其余则为虚拟机(不涵盖 CIMISS 数据库的 14 台服务器集群和 4 台虚拟机集群)。整个系统架构如图 2 所示。

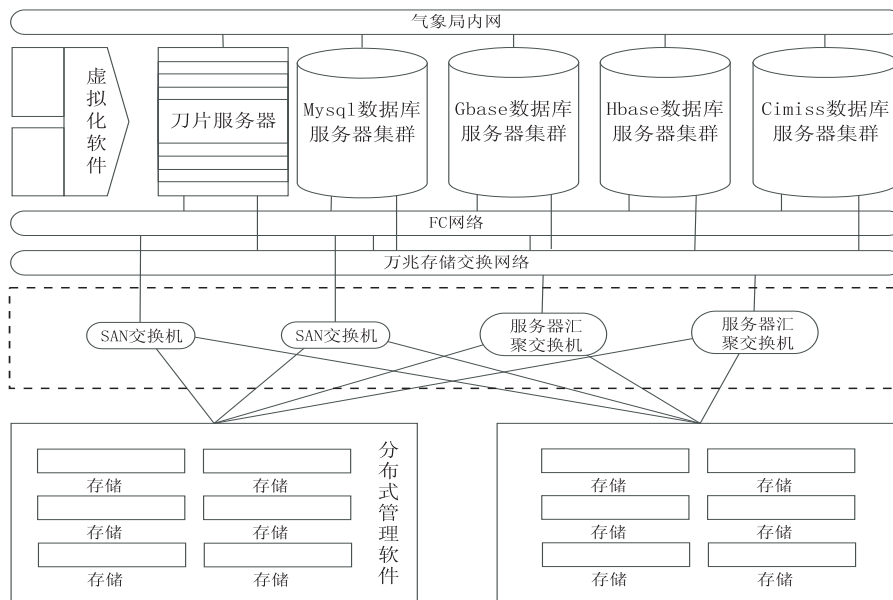


图 2 系统物理架构设计

## 2 系统数据存储架构

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,该系统在全国各省级气象数据中心进行推广和部署,为气象系统各省

级部门提供了较好的业务支撑和数据服务<sup>[15-17]</sup>。虽然它已经无法更好地提供现代化气象服务,但却无法由省级进行替换。为了能够与 CIMISS 系统进行良好的无缝对接,拟通过全国气象数据统一服务接口(meteorological unified service interface community, MUSIC)<sup>[18]</sup>将 CIMISS 数据源与本地数据服务中心进

行整合,提供全国统一、标准、丰富的数据访问服务和应用编程接口(API)。整个数据存储架构设计如图3所示。

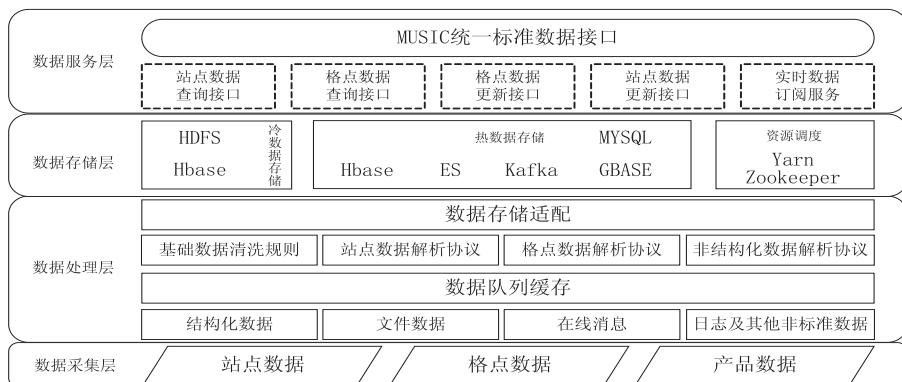


图3 系统数据架构设计

数据采集层:负责从互联网、共享目录、FTP 服务器采集各类探测数据、预报服务产品、行业共享数据和互联网数据;

数据处理层:主要负责采集后的数据按照业务特性进行解析、清洗,存储模型构建等功能;

数据存储层:负责对解析后的数据按照预先分类的结果存储到对应的存储组件中,格点数据存储到 HBase 中,站点数据存储到 GBase 中。而为了提高对格点数据的查询效率,通过将 RowKey 存储 Elasticsearch(简称 ES,下同)中实现快速寻址,快速获取需要查询的数据。

数据服务层:负责对数据进行封装,结合 MUSIC 数据接口体系,封装成站点数据接口,格点数据接口使用开源 swagger 数据接口进行封装。从而通过接口 (API),实现应用与数据解耦、数据管理与应用分离,接口保持稳定不变,保障前端应用系统稳定,不受后端异构数据环境、实现技术变化无影响。

### 3 气象数据存储策略设计

天津市级气象大数据服务中心的数据可以分为两大类:结构化数据和半/非结构化数据。针对前者,采用 HBase+GBase 分布式数据库存储;针对后者,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。

### 3.1 结构化数据

站点数据、基准设备观测数据等数据结构化程度高,数据结构固定,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,有利于提高数据存储效率以及分析速度。

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(分析型数据库)、Gbase 8t(关系型数据库)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。

同时根据数据的使用需要,为关系数据库额外建立多种索引形式,以提升数据索引效率。除数据来源、时间外,数据索引主要采用要素、行政区划等字段。

### 3.2 半/非结构化数据

对于泛气象数据、各类服务产品等数据,其结构化程度低,数据参数一致性低,数据大小不定。对于此类非结构化数据,如果采用通用的结构化存储方式,必然导致其在数据存取方面出现问题,无法满足业务的需求。故此采用 HBase 非结构化数据库进行存储。

HBase的数据表由行和列组成。逻辑上,数据存

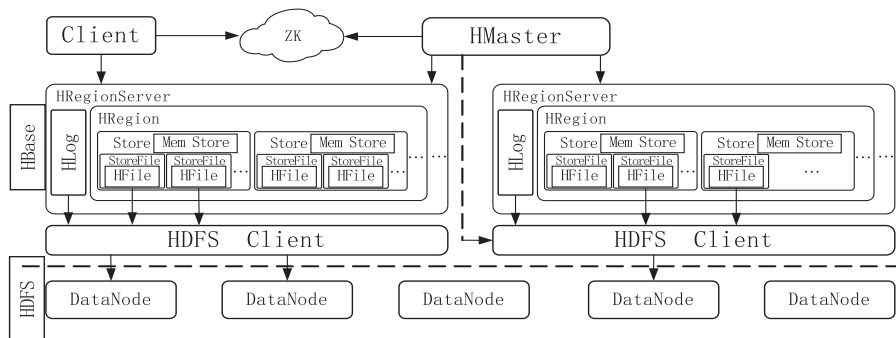


图4 基于 Hadoop 的 HBase 分布式存储架构

储在表里,而表由行和列组成,每行由一个可排序的主键和任意多的列构成,列又归属于不同列族。HBase 是面向列的稀疏存储,列族是固定不变的,在创建表时被定义,相当于表结构。HBase 将同一个列族下的数据存储在同一个目录下。而列族中的列成员不必在表定义时声明,可以在表实时运行中动态定义。

在实际实现中,预先根据非结构化数据类型定义所需列族,并预留若干冗余列族用于后期扩展补充。各非结构化数据在存储时仅需将数据存入自身对应的列族中。在数据读取时,也可根据列族索引快速检索所需数据。整个系统架构如图 4 所示。

整个系统的存储策略设计如表 1 所示。

表 1 数据存储方式

数据类型	数据名称	特点	存储方式	数据响应时效
半/非结构化数据	天气状况	数据量大、精度高	HBase	毫秒级
	数值模式	多层数据、精度高	HBase	实时:秒级 历史:10 秒级
	雷达降水数据	文件多、精度高	HBase	
	卫星雷达	二进制文件、数据量最大	HBase	
结构化数据	图片、模式原始数据、其他中间产品	数量大、小文件多	NAS	秒级
	近 1 小时降水	数据及 24 小时曲线	GBase	毫秒级
	近 72 小时数据	多时段数据累计及曲线		秒级
	分钟温度	数据量大、分析慢		秒级
	小时最低能见度	数值大		秒级

其中,为了获得更高的访问速度,NAS 作为 HBase 的数据源,提供输入数据,以获得毫秒级的数据响应服务。

硬件配置为:CPU:i5-3470 3.20 GHz,内存:4G,浏览器:支持谷歌内核的主流浏览器,如 chrome,则基于 WEBGIS 的数据渲染显示指标如表 2 所示。

针对页面的响应速度进行测试,实际的各项数据查询响应时间如表 3 所示。

## 4 系统性能测试

### 4.1 数据响应速度测试

针对以上数据存储环境进行性能测试,测试系统

表 2 WEBGIS 数据渲染显示指标

产品内容	站点/格点个数	要素个数/格距	显示时间/ms
自动站站点要素显示	站点,140 个	7 个要素	520
卫星云图显示	格点,2 000 * 1 500	格距 0.05°	625
天气雷达组网	格点,920 * 770	格距 0.01°	620
色斑图显示	格点,156 * 167	格距 0.09°	350
风场显示	格点,156 * 167	格距 0.09°	700
等值线显示	格点,156 * 167	格距 0.09°	2 200

表 3 数据查询响应时间

类型(常规产品)		网格数	分辨率 (公里)	响应时间		
				传输	显示(第一次)	总计
自动站	单时效查询	320 * 250	5	880 ms	217 ms	1.3 s
雷达	单时效查询	680 * 880	3	640 ms	475 ms	1.5 s
卫星	单时效查询	850 * 1 160	5	512 ms	722 ms	1.2 s
模式	单时效查询	340 * 464	12.5	1.6 s	460 ms	2.1 s

### 4.2 性能对比测试

为了进一步测试系统性能,将文中系统 GBase 数据库与 CIMISS 系统中的 Oracle 传统数据库进行速度响应测试对比,库中共有 155 281 334 700 条记录,为 1951 年至今的 70 年全部自动站数据。测试对比如图

5 所示。

可以看到基于大数据环境下的存储查询性能比传统查询具有明显的优势,且性能提升的倍数,随着时间维度的延长而不断扩大,由最初的提升 7.6 倍增加到 21.5 倍,而且还有不断扩大的趋势。

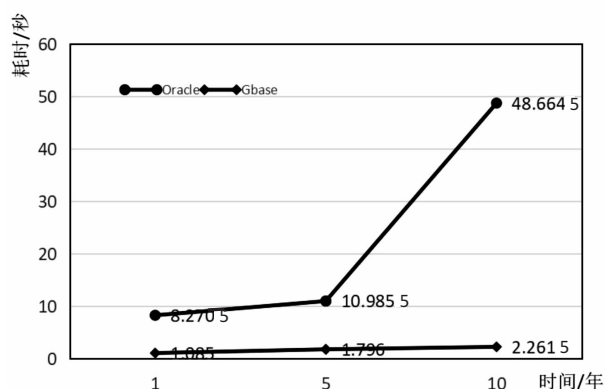


图5 查询性能测试对比

针对格点数据,为了进一步提升系统查询性能,特别使用 ES 进行数据检索,从而发挥查询聚合的性能,并利用 HBase 作为点位数据存储,更大程度地发挥 IO 性能。同时,为了尽量减少传输时间,将 json 结果集数组化为相应的经纬度矩阵,并将矩阵写入 csv 文件,然后压缩成 tgz 文件返回给前端,从而大大降低传输数据量的大小,提升传输效率。

性能对比:采用历史 6 个月总计 4 万天津 1 km 网格数据。在进行系统测试中,数据的响应速度能够在 0.3 s 内到用户页面访问终端,与天津省局旧有一体化平台中格点数据的访问速度相比,平均速度提升了 5 倍多。

## 5 结束语

利用大数据存储技术,以关系型数据存储、分布式 NoSQL 数据库存储、网格存储系统和分布式 NAS 存储相结合的混合云存储架构为基础,搭建了统一数据集、处理和服务的数据中心,并提供了统一的数据服务接口。整个系统具有良好的扩展性,可以与传统数据库通过服务接口进行无缝衔接。同时,数据服务性能得到较大程度的提升,有效保证了现代化气象服务的建设需求。

但也应当清醒地看到,虽然天津省级气象大数据的建设已经初具规模,但是仍然有很多不足之处需要去弥补和提升。

## 参考文献:

[1] GRAY J, LIU D T, NIETO-SANTISTEBAN M, et al. Scien-

tific data management in the coming decade[J]. ACM SIGMOD Record, 2005, 34(4): 34-41.

- [2] 陈 远, 胡 航, 岳石花. 基于 IFC 标准的建筑信息模型分布式大数据平台存储技术研究[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(2): 125-130.
- [3] 施晓峰. 基于分布式 NoSQL 数据库的档案大数据存储与检索方案研究[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(5): 15-20.
- [4] 李 城, 童 彬, 刘应波, 等. 分布式检索在异构科技信息资源中的应用及优化[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(10): 78-84.
- [5] 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.
- [6] 刘 青, 付印金, 倪桂强, 等. 基于 Hadoop 平台的分布式重删存储系统[J]. 计算机应用, 2016, 36(2): 330-335.
- [7] 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.
- [8] 涂俊英, 李志敏. 云计算下非结构化大数据存储系统设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(1): 173-177.
- [9] 吴广君, 王树鹏, 陈 明, 等. 海量结构化数据存储检索系统[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(Suppl.): 1-5.
- [10] 王瑞通, 李炜春. 大数据基础存储系统技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(8): 66-72.
- [11] 宋 杰, 郭朝鹏, 王 智, 等. 大数据分析的分布式 MOLAP 技术[J]. 软件学报, 2014, 25(4): 731-752.
- [12] 邱 超, 许金涛, 元晓华. 基于大数据技术的水情云数据中心设计与研究[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2019, 46(1): 92-100.
- [13] 李 斌, 郭景维, 彭 骞. 面向大数据存储的 HBase 二级索引设计[J]. 计算技术与自动化, 2019, 38(2): 124-129.
- [14] 刘骥超, 叶 钊, 谢寒生. 云计算环境下气象大数据的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2017, 29(5): 168-171.
- [15] 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.
- [16] 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): 750-758.
- [17] 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.
- [18] 曾行吉, 任晓炜, 宋 瑶, 等. 微服务在气象数据服务中的应用研究[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(1): 80-83.