工业物联网时序数据库
高可扩展集群系统
清华数为 IoTDB-IginX

用
户
手
册

清华大学　软件学院

大数据系统软件国家工程实验室

2021 年 4 月 10 日

目录

1.IginX 简介

世界上越来越多的企业意识到生产过程中的实时数据与历史数据是最有价值的信息财富，也是整个企业信息系统的核心和基础。随着工业互联网的到来，实时数据和历史数据其体量越来越大，过去的单机版实时数据库或时序数据库都已经无法满足工业数据管理的全面需求。我们可以见到，业界对于高可扩展时序数据库集群系统的需求越来越迫切。

二十年来，我们一直致力于企业信息及企业数据管理的相关工作，为满足上述需求，基于丰富的业界经验，在近年来继开源了一款单机版时序数据库之后，精心打造出了一款高可扩展时序数据库集群系统 IginX。

1.1 系统特色

IginX 当前发布版本，其主要特色包括：

（1） 平滑可扩展，即在有高速写入和查询的条件下，可几乎不影响负载地进行数据库节点扩容。

（2） 由于中间件无状态，可以随负载任意进行扩展，也因此可以在资源允许的条件下、很好地确保体现出 IoTDB 单机版的高性能。

（3） 副本方面目前采用多写来实现，可以避开分布式一致性算法导致的性能问题。

（4） 底层可以对接 IoTDB、InfluxDB 等时序数据库，允许同时管理多种异构时序数据库，只要这些时序数据库实现了相关接口即可。

（5） 由于支持灵活分片，可以通过编程实现来支持非常灵活的数据副本策略，即非对称式、多粒度的副本策略。

1.2 功能特点

IginX 采用迭代周期式开发流程，目前按开发周期计划，主要节点包括首发版 v0.1，健壮版 v0.2 和完整版 v1.0。其中：

- 首发版可支持典型的工业互联网边缘端数据管理需求，即满足 TPCx-IoT 测试所对应的相关应用需求。
- 健壮版可支持单机版时序数据库，尤其是 IoTDB，的数据访问功能全集。
- 完整版可支持高可扩展时序数据库集群系统的全部系统特性，包括但不限于：可扩展性、可靠性、高可用性等的智能保障。

同时，IginX 还具备以下功能特点

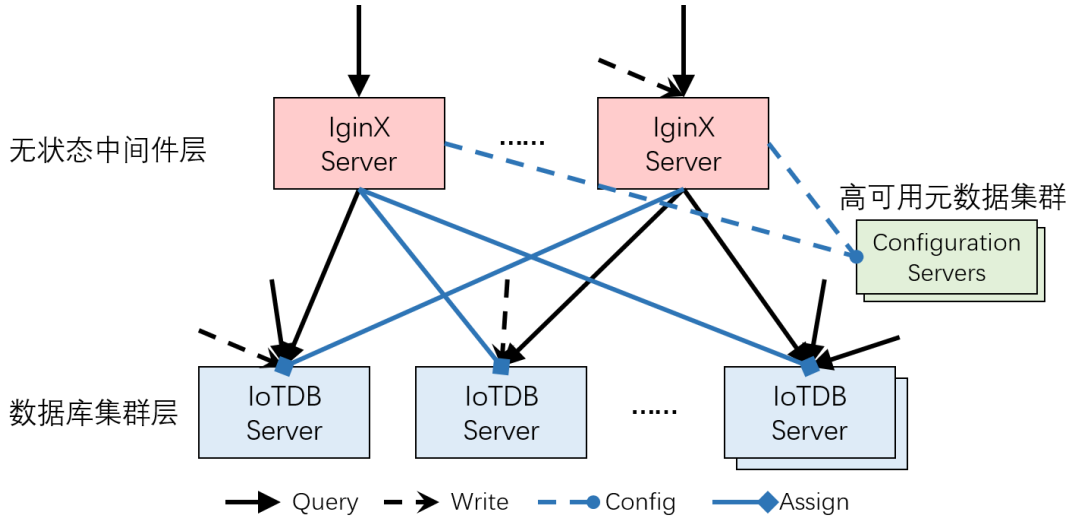
- IginX 使用一个数据存储一致性的拓扑支持，比如 etcd 或者 ZooKeeper。这也就意味着集群视图始终是最新的而且对于不同的客户端也能始终保证其一致性。IginX 还提供了一个高效地将查询路由给最适合的时序数据库实例的代理。

1.3 系统架构

IginX 的整体框架视图如下图所示。自底向上，可以分成 2 层，下层是可以不相互关联通讯的单机版时序数据库集群层，上层是无状态的 IginX 服务中间件层。整体框架的相关元数据信息都存储在一个高可用的元数据集群中。这样的架构充分学习、参考了谷歌的 Monarch 时序数据库系统的良好设计理念，以及其久经考验的实践经验。

其中，读写由 IginX 进行分片解析，发送到底层的数据库进行处理。IginX

通过元数据集群同步信息并进行配置。数据分片的分配由 IginX 服务端来实现，并基于元数据集群进行冲突处理。



1.4 应用场景

IginX，是清华大学大数据系统软件工程国家实验室，为满足工业互联网场景用户推出的新一代高可扩展时序数据库集群系统。该系统在不需要对单机版时序数据库或实时数据库，尤其是 IoTDB，进行侵入式变更的情况下，通过增加管理中间件集群的方式，实现对工业互联网数据进行高可扩展的可靠管理。

IginX 是用于部署，扩展和管理单机版时序数据库实例的大型集群时序数据库解决方案。它在架构上可以像在专用硬件上一样有效地在公共或私有云架构中运行。它的设计结合了 NoSQL 数据库的可伸缩性，并扩展了许多重要的单机版时序数据库功能。

2. 快速上手

2.1 安装环境

IginX 运行时所需的硬件最小配置：

- CPU：单核 2.0Hz 以上
- 内存：4GB 以上
- 网络：100Mbps 以上

IginX 运行时所依赖的软件配置：

- 操作系统：Linux、Mac 或 Windows
- JVM：1.8+
- 时序数据库，若为 IoTDB，要求在 0.11.2 以上
- ZooKeeper：3.5.9+

2.2 安装与部署方法

在下列部署步骤之前，要求安装好 Maven 和 Java 运行环境。

- 安装 Java 运行环境

https://www.java.com/zh-CN/download

- 安装 Maven

http://maven.apache.org/download.cgi

然后，按以下步骤进行系统安装部署：

- 安装 ZooKeeper

https://zookeeper.apache.org/releases.html

- 配置 ZooKeeper（创建文件 conf/zoo.cfg）

```
tickTime=2000
dataDir=/var/lib/zookeeper
clientPort=2181
```

- 启动 ZooKeeper

```
bin/zkServer.sh start
```

- 启动一个或多个单机版本 IoTDB 时序数据库或者 InfluxDB 数据库
  - IoTDB

    https://iotdb.apache.org/UserGuide/V0.10.x/Get%20Started/QuickStart.html
  - InfluxDB

    https://docs.influxdata.com/influxdb/v2.0/get-started/#manually-download-and-install
- 下载 IginX 源代码项目

https://github.com/thulab/IginX/

- 在 IginX 配置文件中配置数据库信息等，见章节 2.3
- 编译安装 IginX

mvn clean install -DskipTests

- 通过运行脚本 start.sh，启动一个或多个 IginX 实例。

2.3 参数配置

配置文件：conf/config.properties

以下为配置文件的内容及其各项的具体含义：

```
# iginx 绑定的 ip
ip=0.0.0.0

# iginx 绑定的端口
port=6324

# iginx 本身的用户名
username=root

# iginx 本身的密码
password=root

# zookeeper 连接字符串，目前是填写的本机地址
# 一般应当启动一个集群，至少由 3 个节点组成，格式为：127.0.0.1:2181;
127.0.0.1:2182; 127.0.0.1:2183
zookeeperConnectionString=127.0.0.1:2181

# 时序数据库列表，使用','分隔不同实例
# 其中，readSessions 与 writeSessions 分别为数据库读写连接池的大小。
# 建议 readSessions 与 writeSessions 要与单个请求所涉及的数据分片个数相
符。
# 下面以 IoTDB 为例：
```

storageEngineList=127.0.0.1#6667#iotdb#username=root#password=r

oot#readSessions=2#writeSessions=5

异步请求最大重复次数；目前建议不修改

maxAsyncRetryTimes=3

异步执行并发数；目前建议不修改

asyncExecuteThreadPool=20

同步执行并发数；目前建议不修改

syncExecuteThreadPool=60

写入的副本个数，目前建议是{1,2,3}

replicaNum=1

底层涉及到的数据库的类名列表

多种不同的数据引擎采用逗号分隔

databaseClassNames=iotdb=cn.edu.tsinghua.iginx.iotdb.IoTDBPlanExec

utor,influxdb=cn.edu.tsinghua.iginx.influxdb.InfluxDBPlanExecutor

策略类名

policyClassName=cn.edu.tsinghua.iginx.policy.NativePolicy

```
# InfluxDB token
influxDBToken=your-token

# InfluxDB organization
influxDBOrganizationName=my-org
```

2.4 交互方式

IginX 交互一共有 2 种方式：

一种是基于 IginX API 开发的客户端程序，与 IginX 进行交互：

目前在 example 目录下有相关示例程序：

https://github.com/thulab/IginX/tree/main/example

另一种是基于 IginX 自带的客户端进行交互，实现命令扩容：

IginX 安装后，该客户端在 client 子模块的 target 目录下

3. 数据访问接口

3.1 定义

支持基于典型的时序数据访问 API，列出如下：

IginX 接口
① OpenSessionResp openSession(1:OpenSessionReq req);
② Status closeSession(1:CloseSessionReq req);
③ Status createDatabase(1:CreateDatabaseReq req);
④ Status dropDatabase(1:DropDatabaseReq req);
⑤ Status addColumns(1:AddColumnsReq req);
⑥ Status deleteColumns(1:DeleteColumnsReq req);
⑦ Status insertRowRecords(1:InsertRowRecordsReq req);
⑧ Status insertColumnRecords(1:InsertColumnRecordsReq req);
⑨ Status deleteDataInColumns(1:DeleteDataInColumnsReq req);
⑩ QueryDataResp queryData(1:QueryDataReq req);
⑪ AggregateQueryResp aggregateQuery(1:AggregateQueryReq req);

3.2 描述

各接口具体含义如下：

- openSession：创建 Session
  - 输入参数：IP，端口号，用户名和密码
  - 返回结果：是否创建成功，如果成功，返回分配的 Session ID
- closeSession：关闭 Session
  - 输入参数：待关闭的 Session 的 ID
  - 返回结果：是否关闭成功
- createDatabase：创建数据库

- 输入参数：待创建的数据库名称
- 返回结果：是否创建成功

- dropDatabase：删除数据库
  - 输入参数：待删除的数据库名称
  - 返回结果：是否删除成功
- addColumns：增加列
  - 输入参数：待增加的列名称列表和额外参数
  - 返回结果：是否增加成功
  - 说明：额外参数是可选的，例如 IoTDB 增加列需要指定数据类型、编码方式和压缩方式等
- deleteColumns：删除列
  - 输入参数：待删除的列名称列表
  - 返回结果：是否删除成功
- insertRowRecords：行式插入数据
  - 输入参数：列名称列表、时间戳列表、数据列表、数据类型列表和额外参数
  - 返回结果：是否插入成功
  - 说明：数据列表是二维的，内层以列组织，外层以行组织；数据不强制要求对齐
- insertColumnRecords：列式插入数据
  - 输入参数：列名称列表、时间戳列表、数据列表、数据类型列表和额外参数

    - 返回结果：是否插入成功
    - 说明：数据列表是二维的，内层以行组织，外层以列组织；数据要求对齐
- deleteDataInColumns：删除数据
    - 输入参数：列名称列表、开始时间戳和结束时间戳
    - 返回结果：是否删除成功
- queryData：原始数据查询
    - 输入参数：列名称列表、开始时间戳和结束时间戳
    - 返回结果：查询结果集，可以提供列名称列表、时间戳列表、数据列表和数据类型列表等信息
- aggregateQuery：聚合查询
    - 输入参数：列名称列表、开始时间戳、结束时间戳和聚合查询类型
    - 返回结果：查询结果集，可以提供列名称列表、时间戳列表、数据列表和数据类型列表等信息
    - 说明：目前聚合查询支持最大值(MAX)、最小值(MIN)、求和(SUM)、计数(COUNT)、平均值(AVG)、第一个非空值(FIRST)和最后一个非空值(LAST)七种

3.3 特性

数据访问接口相关特性：

- 连接池：将前端应用程序查询复用到底层数据库连接池中以优化性能
- IginX 可进行面向单机版时序数据库的并行查询，从而提高数据库查询

相关性能。

3.4 性能

数据精确度：与底层时序数据库相同。

吞吐性能特性：IginX 是无状态的，因此，当应用连接增加的时候，可以实时进行任意规模的扩展，从而确保底层单实例数据库的性能可得到全面体现，即 IginX 不会成为系统瓶颈。

4. 扩容功能

IginX 可进行 2 个层次上的扩容操作，即 IginX 层和时序数据库层。

4.1 IginX 扩容操作

为 IginX 设置待扩容集群的 ZooKeeper 相关 IP 及端口后，启动 IginX 实例即可：

```
# zookeeper 连接字符串，目前是填写的本机地址
# 一般应当启动一个集群，至少由 3 个节点组成，格式为：127.0.0.1:2181; 127.0.0.1:2182; 127.0.0.1:2183
zookeeperConnectionString=127.0.0.1:2181
```

4.2 底层数据库扩容操作

在已有集群基础上，要增加底层数据库节点，我们需要执行以下 3 个步骤：

（1） 启动客户端，给定一个 IginX 所在的 IP 及其端口

```
sbin/start_cli.sh -h 192.168.10.43 -p 2333
```

（2） 进行命令行交互，输入以下命令，可以增一个 IP 在 192.168.10.43，端口在 6667，用户名为 root，密码为 root 的 IoTDB

add storageEngine

192.168.10.43#6667#iotdb#username=root#password=root

#readSessions=20#writeSessions=30

（3） 客户端回复”success”，即扩容成功。此时，可输入“quit”退出客户端。

5. 多数据库扩展实现

IginX 目前支持的底层数据库包括 IoTDB 和 InfluxDB 两种，用户可根据需要自行扩展其他类型的时序数据库。

5.1 支持的功能

其他类型的时序数据库如果想要成为 IginX 的数据后端，必须支持以下功能：

- 以时间序列为单位插入数据
- 原始数据查询，即可以指定时间范围对单条或多条时间序列进行查询

IginX 的其他功能是可选的，如果有相关需求的话需要支持，否则无需支持：

- 创建数据库
- 删除数据库
- 增加列
- 删除列
- 删除数据
- 聚合查询，包括最大值(MAX)、最小值(MIN)、求和(SUM)、计数(COUNT)、平均值(AVG)、第一个非空值(FIRST)和最后一个非空值(LAST)七种

5.2 可扩展接口

扩展数据库需要实现以下两类接口：

- IStorageEngine：共包括 15 个接口，名称与含义的对应关系如下

名称	含义

syncExecuteInsertColumnRecordsPlan	同步执行列式插入数据计划
syncExecuteInsertRowRecordsPlan	同步执行行式插入数据计划
syncExecuteQueryDataPlan	同步执行原始数据查询计划
syncExecuteAddColumnsPlan	同步执行增加列计划
syncExecuteDeleteColumnsPlan	同步执行删除列计划
syncExecuteDeleteDataInColumnsPlan	同步执行删除数据计划
syncExecuteCreateDatabasePlan	同步执行创建数据库计划
syncExecuteDropDatabasePlan	同步执行删除数据库计划
syncExecuteDeleteColumnsPlan	同步执行删除列计划
syncExecuteAvgQueryPlan	同步执行 AVG 查询计划
syncExecuteCountQueryPlan	同步执行 COUNT 查询计划
syncExecuteSumQueryPlan	同步执行 SUM 查询计划
syncExecuteFirstQueryPlan	同步执行 FIRST 查询计划
syncExecuteLastQueryPlan	同步执行 LAST 查询计划
syncExecuteMaxQueryPlan	同步执行 MAX 查询计划
syncExecuteMinQueryPlan	同步执行 MIN 查询计划

每个接口的输入参数为对应类型的计划，输出参数为相应的执行结果。其功能是将计划转换为待扩展数据库可用的数据结构，包装后将请求发送到给定的数据后端，再解析得到的结果，按照不同类型的执行结果进行封装。这样一来便可完成 IginX 与底层数据库功能的对接。

- QueryExecuteDataSet：在原始数据查询中，IginX 特别提出需要待扩展数据库实现 QueryExecuteDataSet 接口，这样做是为了形成统一的

查询结果模式，方便查询结果的处理及合并。该接口类共包括 5 个接口，名称与含义的对应关系如下

名称	含义
getColumnNames	获取查询结果集中所有列的名称
getColumnTypes	获取查询结果集中所有列的数据类型
hasNext	查询结果集是否还存在下一行
next	获取查询结果集的下一行
close	关闭查询结果集

6. 部署指导原则

6.1 边缘端部署原则

一般的边缘端数据管理场景，要确保数据可靠性，可以通过 2 副本 2 节点的时序数据库实例部署来实现。

如果应用连接数较高，可以启动多个 IginX；否则，可以仅启动 1 个 IginX。

6.2 云端部署原则

在云端单数据中心场景，可通过 3 副本多节点的时序数据库实例部署来实现。如果应用连接数较高，可以启动多个 IginX；否则，可以仅启动 1 个 IginX。

在云端多数据中心场景，可通过跨数据中心 3 副本多节点的时序数据库实例部署来实现。如果应用连接数较高，可以在每个数据中心启动多个 IginX；否则，可以在每个数据中心仅启动 1 个 IginX。

7. 常见问题

7.1 如何知道当前有哪些 IginX 节点

在相应的 ZooKeeper 客户端中直接执行查询。我们需要执行以下步骤：

（1）进入 ZooKeeper 客户端：首先进入 apache-zookeeper-x.x.x/bin 文件夹，之后执行命令启动客户端 ./zkCli.sh

（2）执行查询命令查看包含哪些 IginX 节点： ls /iginx，返回结果为形如[node0000000000, node0000000001] 的节点列表。

（3）查看某一个 IginX 节点的具体信息：如需要查询（2）中对应 node0000000000 节点具体信息，则需要执行命令：

get /iginx/node0000000000 得到 node0000000000 节点具体信息，返回结果为形如{"id":0,"ip":"0.0.0.0","port":6324}的字典形式，参数分别代表节点在 ZooKeeper 中对应的 ID，IginX 节点自身的 IP 和端口号。

7.2 如何知道当前有哪些时序数据库节点

在相应的 ZooKeeper 客户端中直接执行查询。我们需要执行以下步骤：

（1）进入 ZooKeeper 客户端：首先进入 apache-zookeeper-x.x.x/bin 文件夹，之后执行命令启动客户端 ./zkCli.sh

（2）执行查询命令查看包含哪些时序数据库节点： ls /storage，返回结果为形如 [node0000000000] 的节点列表。

（3）查看某一个时序数据库节点的具体信息：如需要查询（2）中对应 node0000000000 节点具体信息，则需要执行命令：

get /storage/node0000000000 得到 node0000000000 节点具体信息，返回结果为形如

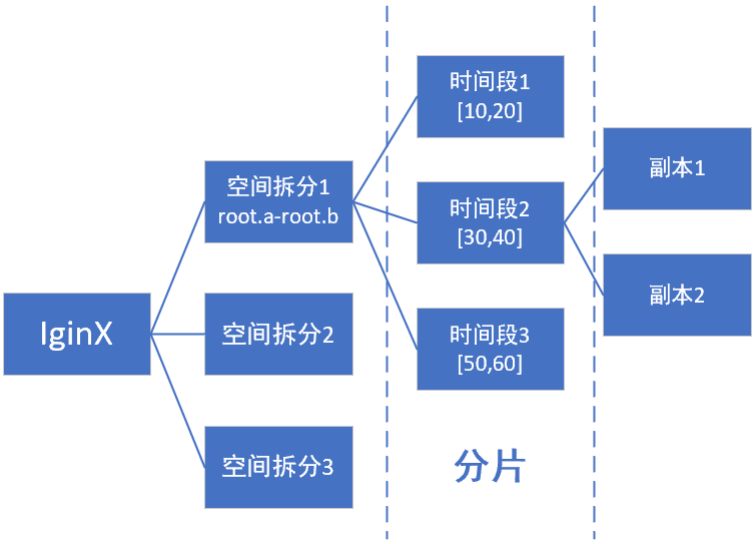
{"id":0,"ip":"127.0.0.1","port":6667,"extraParams":{"password":"root","readSessions":"100","writeSessions":"100","username":"root"},"storageEngine":"IoTDB"}

的字典形式，参数按照顺序分别代表节点在 ZooKeeper 中对应的 ID，时序数据库节点自身的 IP 和端口号，以及额外的启动参数，与该数据库节点的数据库类型。

7.3 如何知道数据分片当前有几个副本

在相应的 ZooKeeper 客户端中执行查询。

需要了解的是，分片在 IginX 存储的格式如下图：



需要先通过对应的空间拆分和时间拆分确定需求的分片，然后即可查询该分片的具体信息。

我们需要执行以下步骤：

（1）进入 ZooKeeper 客户端：首先进入 apache-zookeeper-x.x.x/bin 文件夹，之后执行命令启动客户端 ./zkCli.sh

（2）执行查询命令查看 IginX 目前包含哪些空间拆分： ls /fragment，得到的结果为形如

[null-root.sg1.d1.s1， root.sg1.d3.s1-null， root.sg1.d1.s1-null， null-root.sg1.d3.s1] 的空间拆分列表。

（3）查看该空间拆分下的分片情况：如需要查询（2）中对应 null-root.sg1.d1.s1 这一空间拆分具体信息，则需要执行命令：

ls /fragment/null-root.sg1.d1.s1，返回结果为形如 [0, 100, 1000]的列表形式，其中每一个参数表示有一个分片以该时间作为起始时间。如[0，100，1000]的列表表示该空间拆分下包含 3 个分片，其分片的最小时间戳分别为 0，100 和 1000。

（4）查询某一个分片的具体信息。在前三步中我们确定了该分片在结构中的对应位置，如需要查询 null-root.sg1.d1.s1 空间拆分下，起始时间为 0 的分片的具体信息，则需要执行命令：

get /fragment/null-root.sg1.d1.s1/0，返回结果为形如

{"timeInterval":{"startTime":0,"endTime":99},"tsInterval":{"endTimeSeries":"root.sg1.d1.s1"},"replicaMetas":{"0":{"timeInterval":{"startTime":0,"endTime":9223372036854775807},"tsInterval":{"endTimeSeries":"r

oot.sg1.d1.s1"},"replicaIndex":0,"storageEngineId":0}},"createdBy":0,"updatedBy":0} 的字典形式。

其中，replicaMetas 参数表示存储该分片上所有副本元信息的字典，其元素个数即为该分片的副本个数。

其他参数含义如下：

timeInterval：表示这一分片的起始和终止时间

tsInterval：表示这一分片的起始和终止时间序列（可为空）

replicaMetas 中每一个元素的键表示副本的序号，值包含该副本数据起始终止时间、起始终止时间序列、对应时序数据库节点等信息

createdBy：表示创建该分片的 IginX 编号

updatedBy：表示最近更新该分片的 IginX 编号

7.4 如何加入 IginX 的开发，成为厉害的 IginX 代码贡献者？

在 IginX 的开源项目地址上 https://github.com/thulab/IginX 提 Issue、提 PR，IginX 项目核心成员将对代码进行审核后，合并进代码主分支中。

IginX 当前版本在写入和查询功能方面，支持还不丰富，只有写入、范围查询和整体聚合查询。因此，非常欢迎喜欢 IginX 的开发者为 IginX 完成相关功能的开发。

7.5 IginX 集群版与 IoTDB-Raft 版相比，各自特色在何处?

以下为当前的 IginX 集群版与 IoTDB-Raft 版特性对比表：

特性\系统	IoTDB-Raft	IginX 集群版
平滑可扩展性	无	有
异构数据库支持	无	有
存算分层扩展性	无	有
分布式一致性算法代价	有	无
灵活分片	无	有
灵活副本策略	无	有
对等强一致性	有	无
当前功能	丰富	基本
部署组件	同构	异构