浙江大学

大规模信息系统构建技术导论

分布式 MiniSQL 系统最终报告

2021 学年　第一学期（上）

组员信息（第一行请写组长信息）

学号	姓名
3180103772	张溢弛
3180103162	张琦
3180103501	聂俊哲

2021 年　 6 月　　10 日

目 录

一、引言

1.1 系统目标

本项目是《大规模信息系统构建技术导论》的课程项目，在大二春夏学期学习的《数据库系统》课程的基础上结合《大规模信息系统构建技术导论》所学知识实现的一个**分布式关系型简易数据库系统。**

该系统包含 Zookeeper 集群，客户端，主从节点等多个模块，可以实现对简单 SQL 语句的处理解析和分布式数据库的功能，并具有数据分区，均衡负载，客户端缓存，副本管理，容错容灾等功能。

本系统使用 Java 语言开发，并使用 Maven 作为项目管理工具，使用 Github 进行版本管理和协作开发，由小组内的三名成员共同完成，每个人都有自己的突出贡献。

1.2 设计说明与任务分工

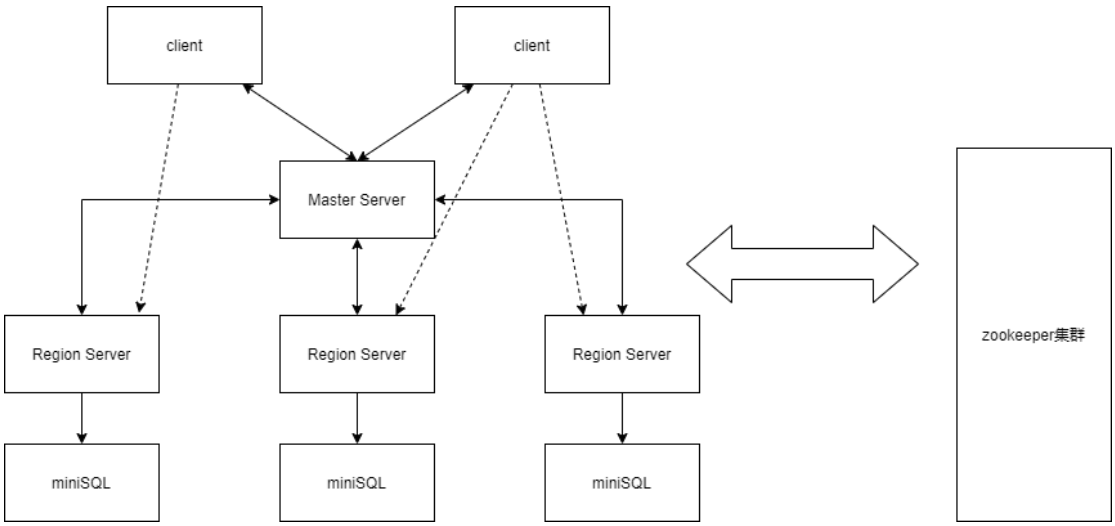
本系统由小组 3 位成员合作编写完成，使用 Java 开发，IDEA 作为集成开发环境，Maven 作为包管理工具，Github 进行合作开发，每个组员都完成了目标任务，具体的分工安排如下：

成员姓名	学号	分工职责
张溢弛	3180103772	总体架构的设计和搭建，客户端和**通信协议模块**以及分布式存储、**缓存机制**的开发，miniSQL 的 Interpreter，CatalogManager 和 API 模块的开发
张琦	3180103162	从节点模块的开发，**副本管理和容错容灾**等核心功能的开发，miniSQL 的 BufferManager 和 RecordManager 等模块的开发
聂俊哲	3180103501	主节点的开发，Zookeeper 服务的开发，**容错容灾和均衡负载**等核心功能的开发，miniSQL 的 Index Manager 的开发，以及 miniSQL 测试集成工作

二、系统设计与实现

2.1 系统总体架构

本系统的总体架构设计如下图所示：

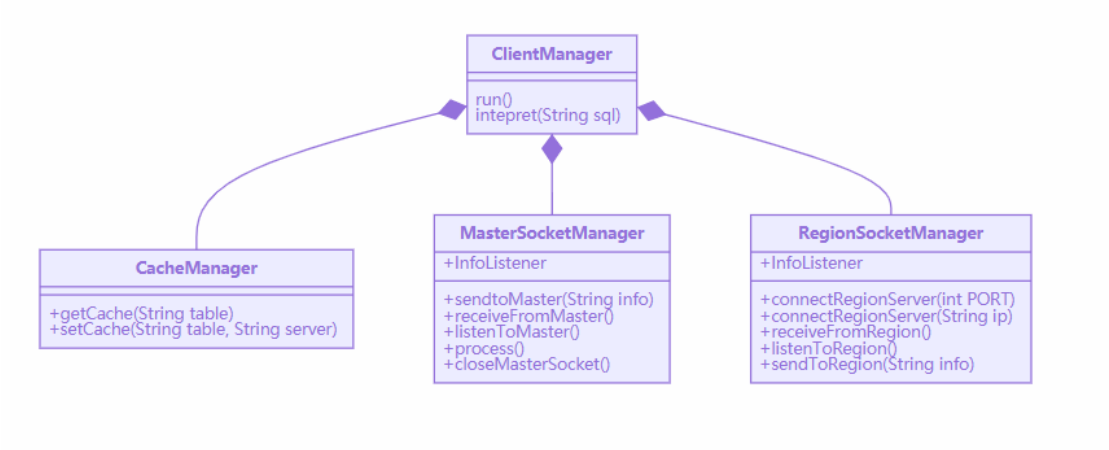


系统的源代码中将整个 maven 项目划分成三个模块，分别是 Client，Master Server 和 Region Server，分别对应分布式 MiniSQL 系统的客户端、主节点和从节点，并且三者之间都可以在一定的通信框架下进行通信，同时**主节点和从节点通过 Zookeeper 集群，对数据表的信息进行统一的管理**。

2.2 Client 设计

2.2.1 架构设计

本系统中的 Client 设计如下图所示：

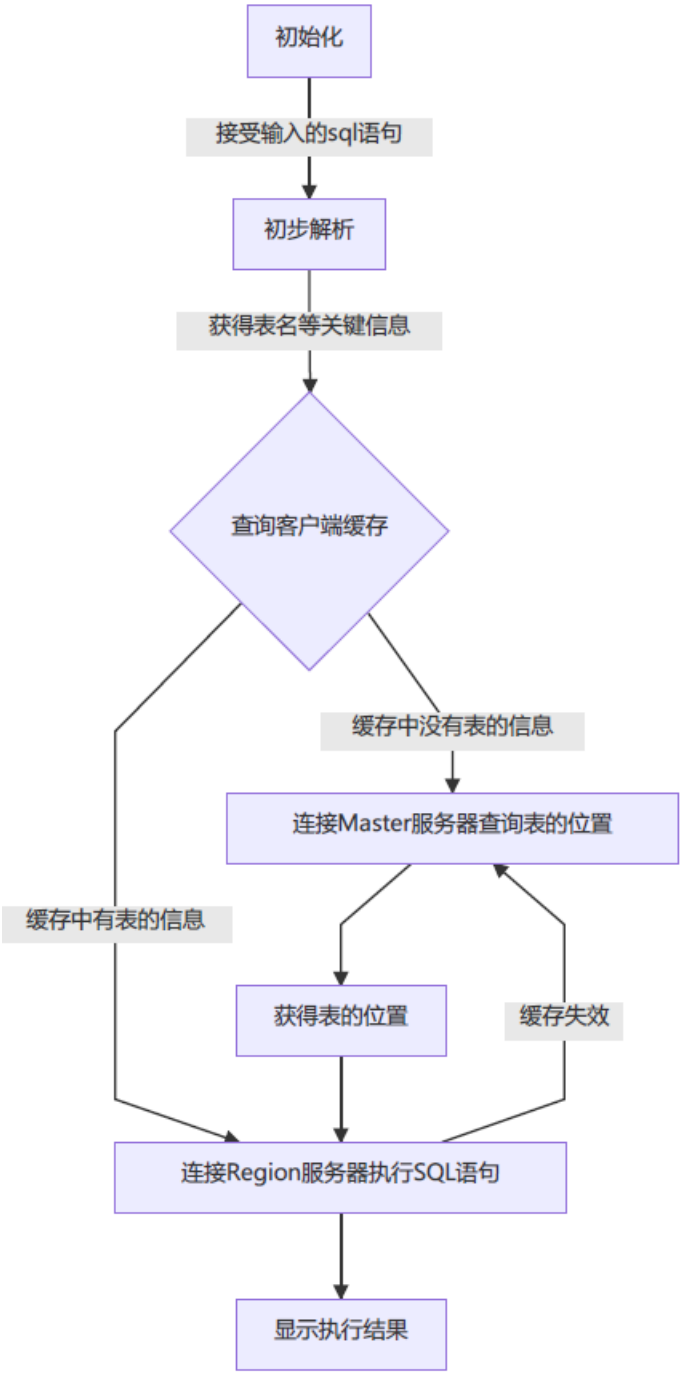


Client 由一个 ClientManager 类负责管理，该类下面还有三个子功能的类，分别是：

- CacheManager，负责客户端的缓存服务，使用一个 HashMap 来对缓存进行管理，每次开启客户端就会创建而退出客户端就会清除，使用 key-value 的方式存储了一些表名-从节点 IP 地址的对，并提供了增删查改的接口
- MasterSocketManager 负责和主服务器进行通信，通过建立 Socket 连接实现异步的 IO 流，在一个单独的线程中运行，包括查询数据表所在的 Region 等功能，具体的通信协议在第三部分介绍
- RegionSocketManager 负责和 Region Server 进行通信，Client 在获得了某个表对应的 Region 的 IP 地址之后会和这个 Region 建立 Socket 连接，并且监听端口位于一个单独的线程中，可以执行 SQL 语句的发送和接收 SQL 语句执行结果等功能

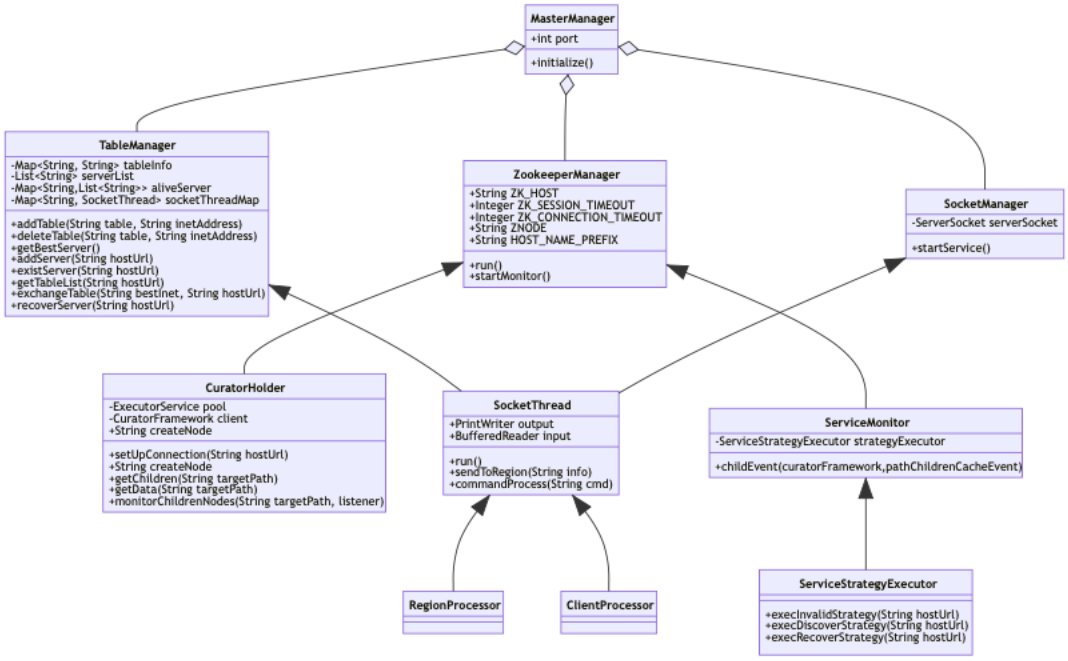
2.2.2 工作流程

客户端的工作流程可以用下面的流程图来表示：



2.3 Master Server 设计

本系统中的 Master Server 设计如下图所示：



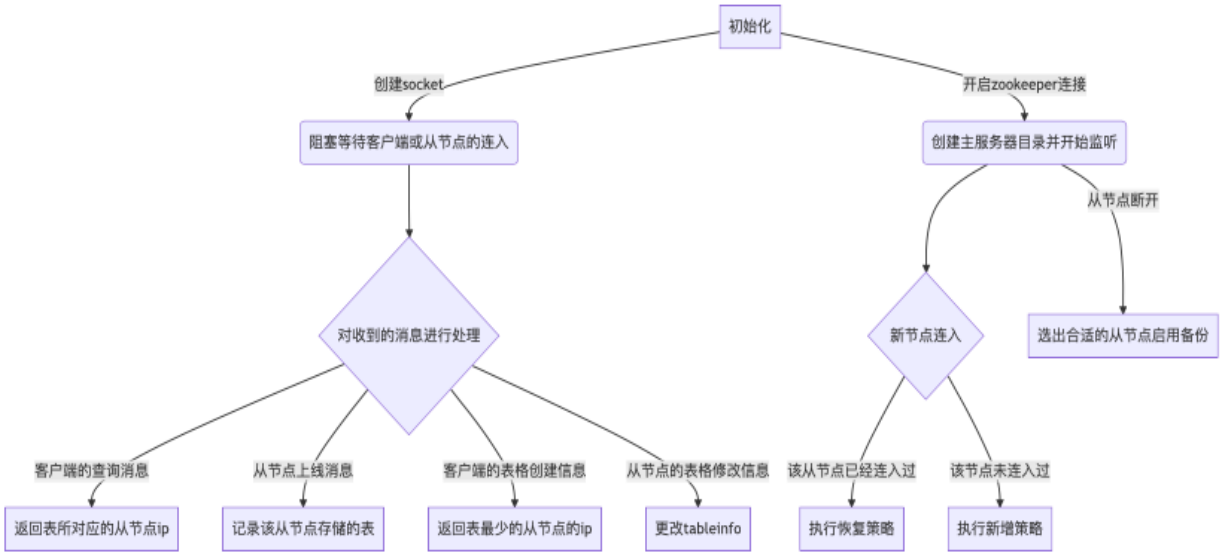
MasterServer 由一个 MasterManager 类负责管理，该类下面还有三个子功能的类，分别是：

- TableManager，负责管理维护存储在主节点的各种重要信息。如 Map<String, String> tableInfo 用于记录表与其所在从节点 ip 的对应关系；List<String> serverList 用于记录所有连接过的从节点 ip，方便判断新连接的从节点是全新的还是失效后恢复的；Map<String,List<String>> aliveServer 用于记录当前活跃的从节点 ip，以及每个从节点 ip 对应的所有表。依托于这些信息，我们才可以实现容错容灾、副本管理等功能。
- ZookeeperManager 负责使用 zookeeper 进行集群管理。当每个从节点连入时，首先需要在 zookeeper 的 db 目录下完成自己的注册，编号是 Region_0、Region_1 等依次递增。通过 zookeeper 进行集群管理，我们可以确保当节点有变化时，能够监听到，并做出相应的处理，如容错容灾服务等。
- SocketManager 负责和 Client 以及 Region Server 进行通信。Client 在没有缓存时，需要先访问主节点从而获得某个表对应的 Region 的 IP 地址，从而在之后和这个 Region 建立 Socket 连接。Region Server 在增加删除表时，需要通过 Socket 连接给 Master Server 发消息。同时，Master Server 在检测到有从

节点挂了之后，需要在负载均衡后选出合适的从节点，给从节点发消息以通知它完成容错容灾。

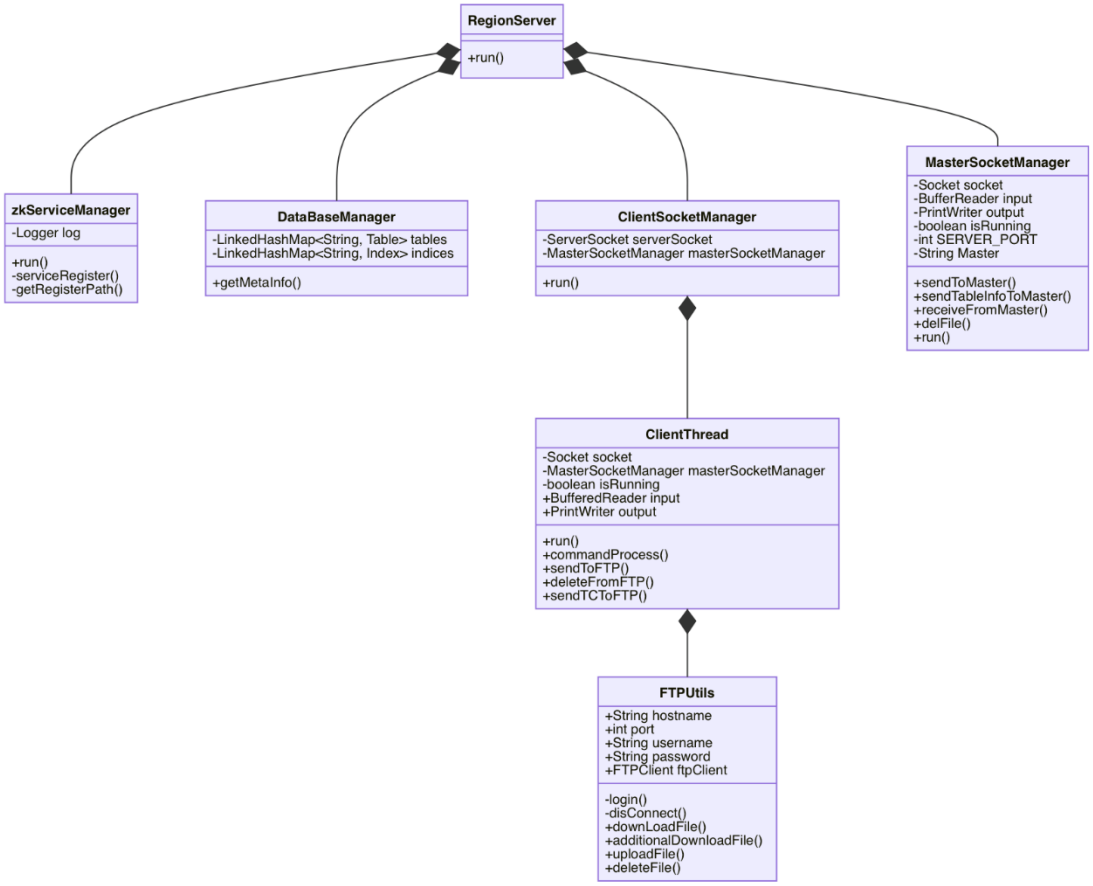
2.2.2 工作流程

主服务器的工作流程可以用下面的流程图来表示：



2.4 Region Server 设计

本系统中的 Region Server 设计如下图所示：



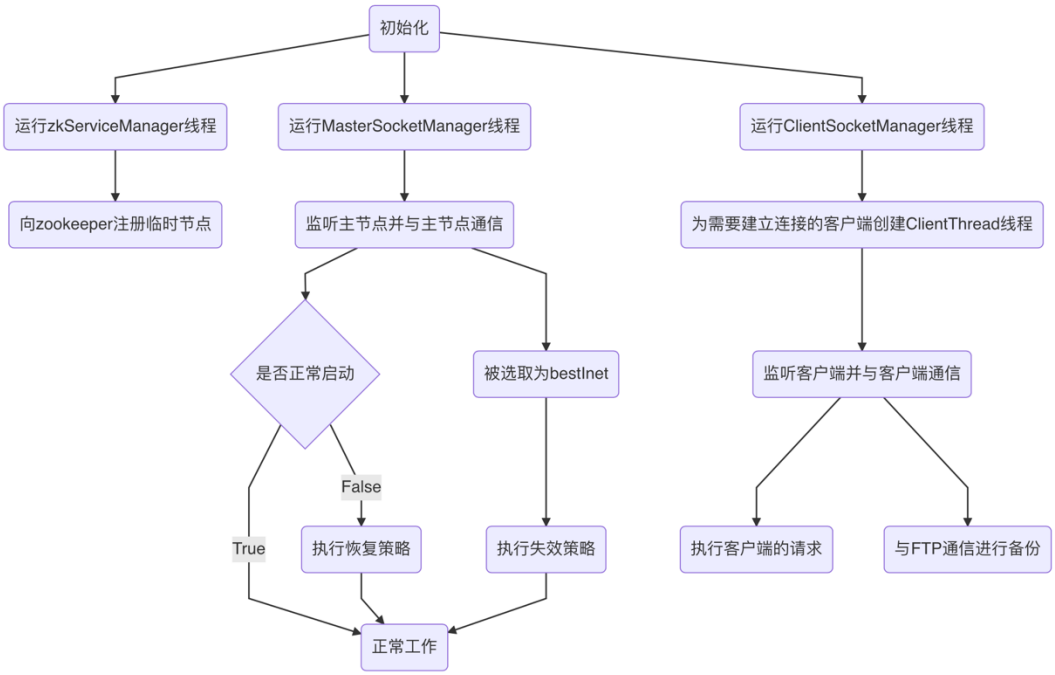
从服务器由一个 RegionManager 负责管理，该类下包含四个子功能的类，分别是：

- zkServiceManager 负责向 zookeeper 注册当前从节点的临时节点。
- DataBaseManager 负责向主节点发送表的信息，并作为句柄被包含在 Master SocketManager 中。
- ClientSocketManager 负责为需要建立连接的客户端创建 ClientThread 线程，并利用该线程，监听客户端并与客户端保持通信。一方面，从节点需要执行客户端的数据库请求语句；另一方面，从节点需要在数据发生修改后，把修改后的数据文件上传到 FTP 进行备份。这里需要使用到 FTPUtils 类，该类中包含了一系列与 FTP 通信的函数，包括上传、下载以及删除等功能。
- MasterSocketManager 负责监听主节点，并与主节点保持通信。主节点传给从节点的信息主要有两类：以<master>[3]开头的信息是主节点在其他从节

点宕机后，要求当前从节点获取该宕机从节点的备份，也就是执行失效策略；以<master>[4]开头的信息是主节点检测到宕机后的从节点重新上线后，要求其执行恢复策略。

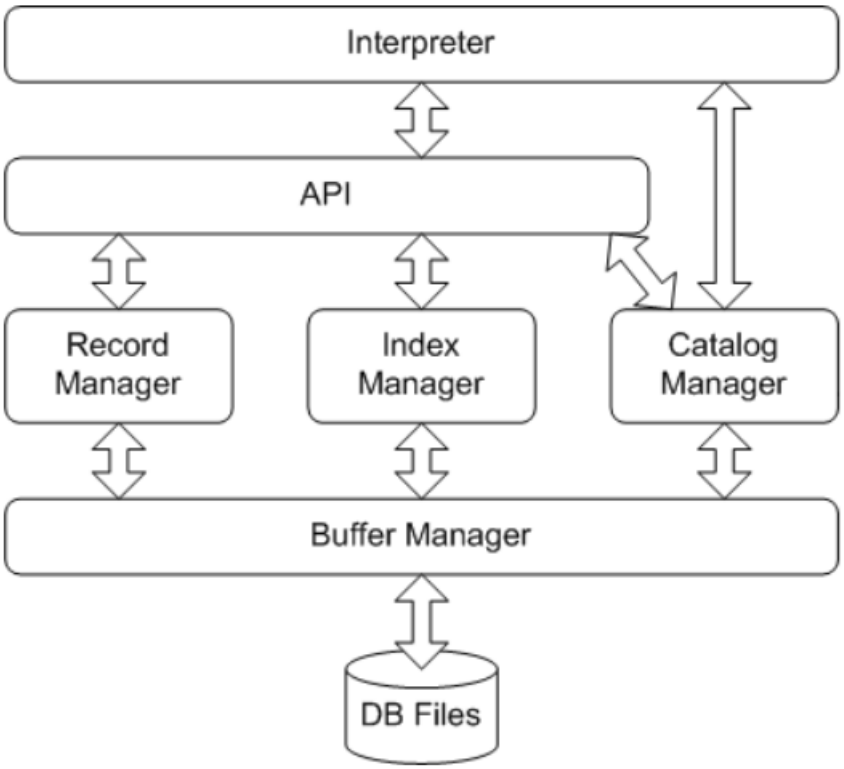
2.4.2 工作流程

从服务器的工作流程可以用下面的流程图来表示：

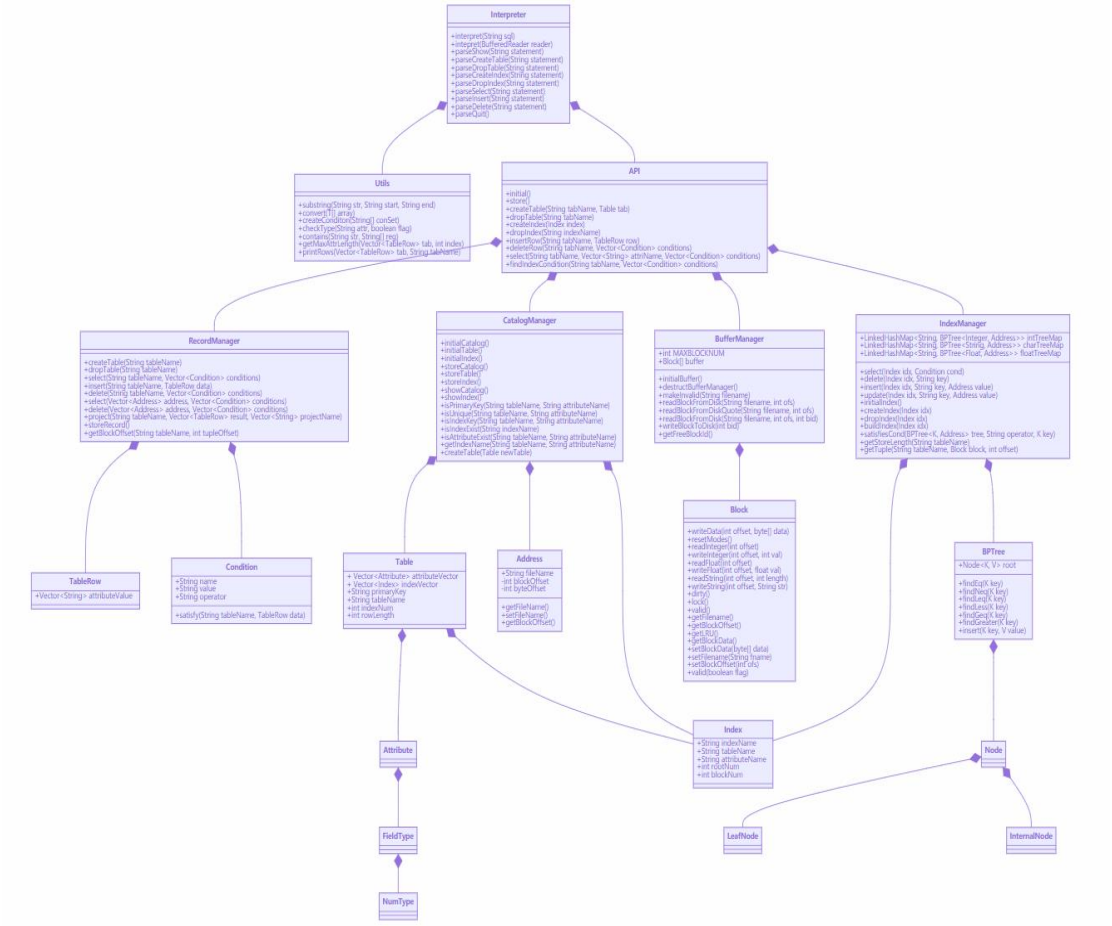


2.5 miniSQL 架构设计

miniSQL 是 Region 中很重要的一个模块，是一个关系型数据库引擎，支持多种简单的 SQL 语句的解析和处理，同时对外提供 RESTful 的接口供 Region 进行调用。其总体架构设计如下：



其支持的 SQL 语句类型主要有：**创建数据表，插入记录，修改记录，删除记录，创建索引，删除索引，删除数据表，退出运行**等等。我们在原本的 C++miniSQL 基础上对其功能进行了扩展，完成了一个 Java 版本的 miniSQL，其具体的功能模块设计如下：



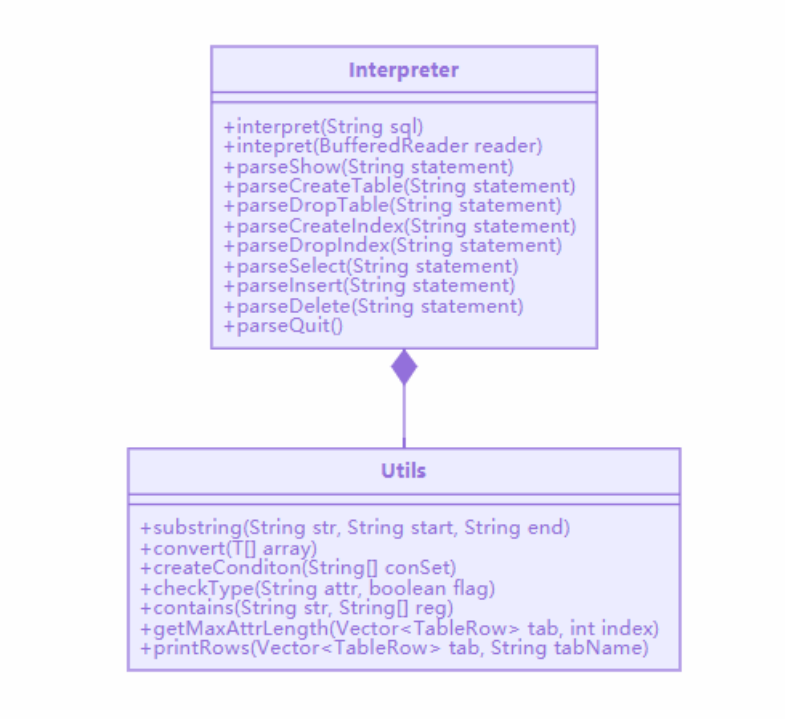
下面我们来具体介绍每个模块的设计思路和组成部分。

2.5.1 Interpreter 层

`Interpreter` 模块直接与用户交互，主要实现以下功能：

- 程序流程控制，即启动并初始化→【接收命令、处理命令、显示命令结果】循环→退出流程。
- 接收并解释用户输入的命令，生成命令的内部数据结构表示，同时检查命令的语法正确性和语义正确性，对正确的命令调用 API 层提供的函数执行并显示执行结果，对不正确的命令显示错误信息。

我们使用一个类 Interpreter 完成了这些功能，并编写了一个工具类 Utils 提供一系列辅助方法，具体的类图如下：

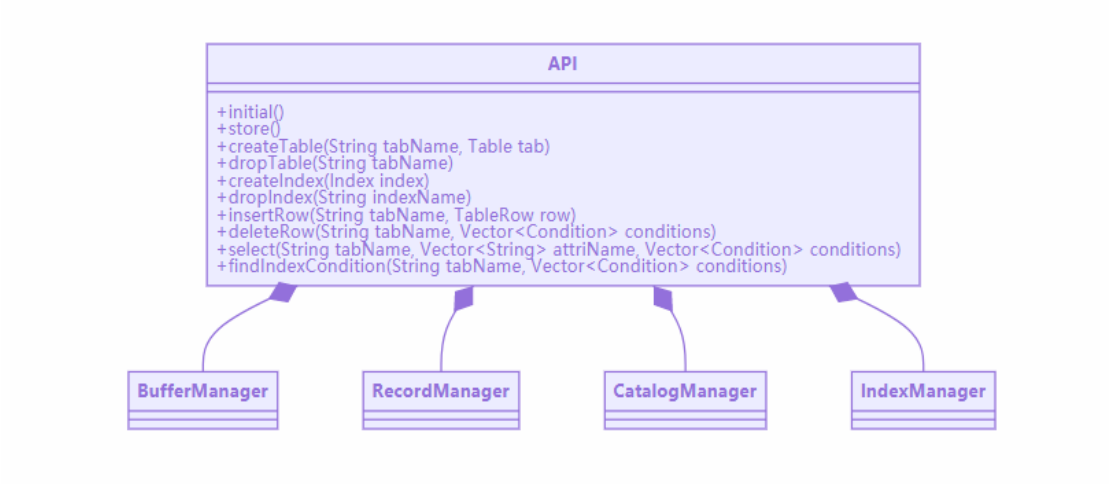


2.5.2 API 层

API 模块是整个系统的核心，其主要功能为提供执行 SQL 语句的接口，供 Interpreter 层调用。

该接口以 Interpreter 层解释生成的命令内部表示为输入，根据 Catalog Manager 提供的信息确定执行规则，并调用 Record Manager、Index Manager 和 Catalog Manager 提供的相应接口进行执行，最后返回执行结果给 Interpreter 模块。

API 层是连接顶层的 SQL 解释器和底层各个主模块的中间层，对 Interpreter 产生的解析结果调用不同的底层 API 来实现对应的功能，其类图如下：



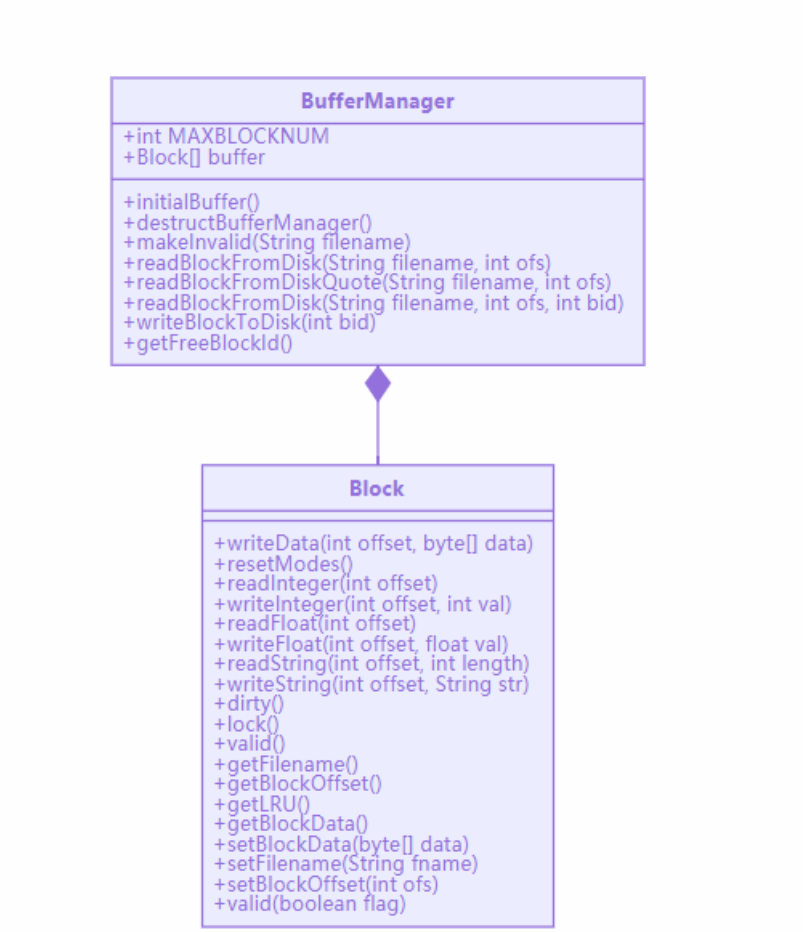
2.5.3 Buffer Manager

Buffer Manager 负责**缓冲区**的管理，主要功能有：

- 根据需要，读取指定的数据到系统缓冲区或将缓冲区中的数据写出到文
- 实现缓冲区的替换算法，当缓冲区满时选择合适的页进行替换
- 记录缓冲区中各页的状态，如是否被修改过等
- 提供缓冲区页的 pin 功能，及锁定缓冲区的页，不允许替换出去

为提高磁盘 I/O 操作的效率，缓冲区与文件系统交互的单位是块，块的大小应为文件系统与磁盘交互单位的整数倍，一般可定为 4KB 或 8KB，本项目中采用 4096KB 作为块的大小。

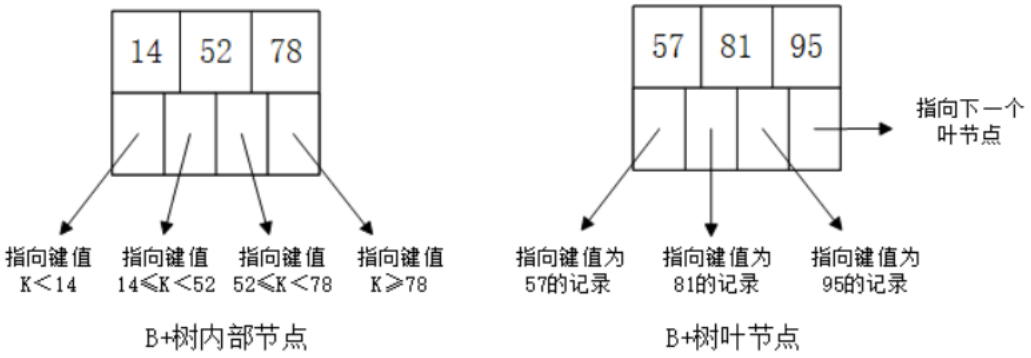
BufferManager 模块的类图如下，该模块包含一个 Block 类和一个管理调度缓冲区的 BufferManager：



2.5.4 Index Manager

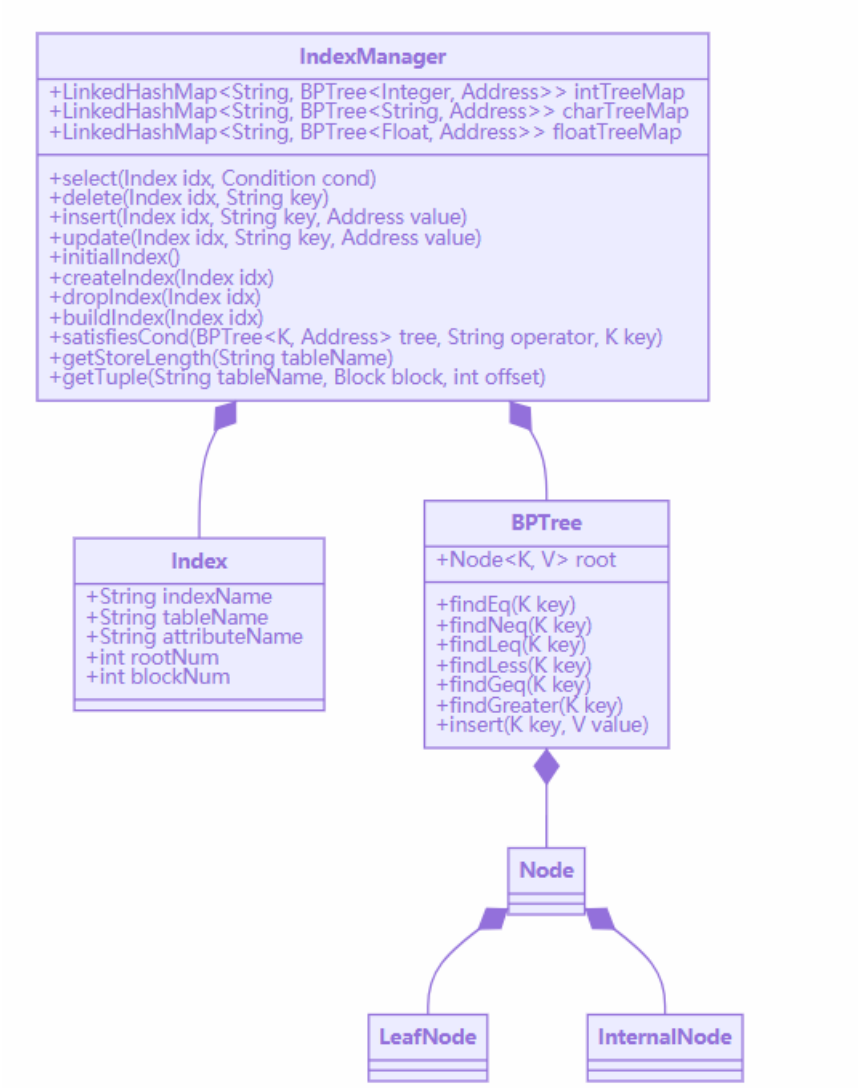
Index Manager 负责 B+树索引的实现，实现 B+树的创建和删除（由索引的定义与删除引起）、等值查找、插入键值、删除键值等操作，并对外提供相应的接口。

B+树中索引节点大小应与缓冲区的块大小相同(4096KB)，B+树的叉数由节点大小与索引键大小计算得到。B+树的结构可以用下面的图来表示：



当然上面只是 n=3 的情况，在本系统的 miniSQL 模块开发中，一个节点的大小和 Buffer 模块的块大小是相同的，因此 n 会比 3 大得多。

整个 IndexManager 模块可以用如下类图来表示：



其中 Index 类是一个表示索引的数据结构，而 BPTree 具体实现了 B+树的泛

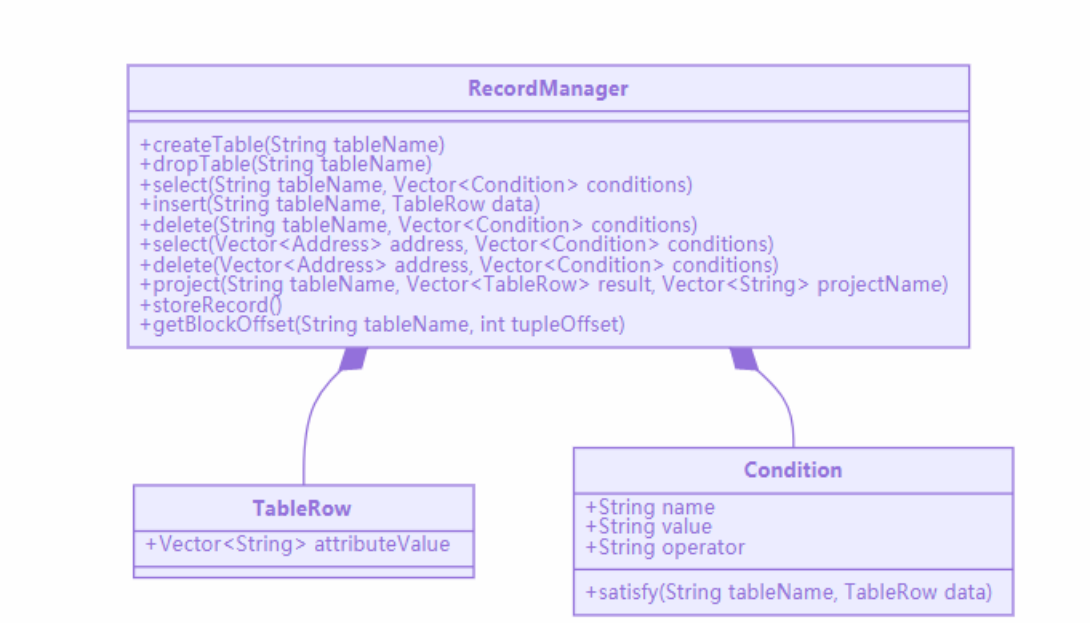
型，由一系列内部节点和外部节点组合而成。

2.5.5 Record Manager

Record Manager 负责**管理记录表中数据的数据文件**。主要功能为实现数据文件的创建与删除（由表的定义与删除引起）、记录的插入、删除与查找操作，并对外提供相应的接口。其中记录的查找操作要求能够支持不带条件的查找和带一个条件的查找（包括等值查找、不等值查找和区间查找）。

数据文件由一个或多个数据块组成，块大小应与缓冲区块大小相同。一个块中包含一条至多条记录，为简单起见，只要求支持定长记录的存储，且不要求支持记录的跨块存储。

RecordManager 与 BufferManager 有一定的联动，当需要对记录进行增删查改的时候，会在 Buffer 中对 Block 的数据进行修改，具体的类图如下：

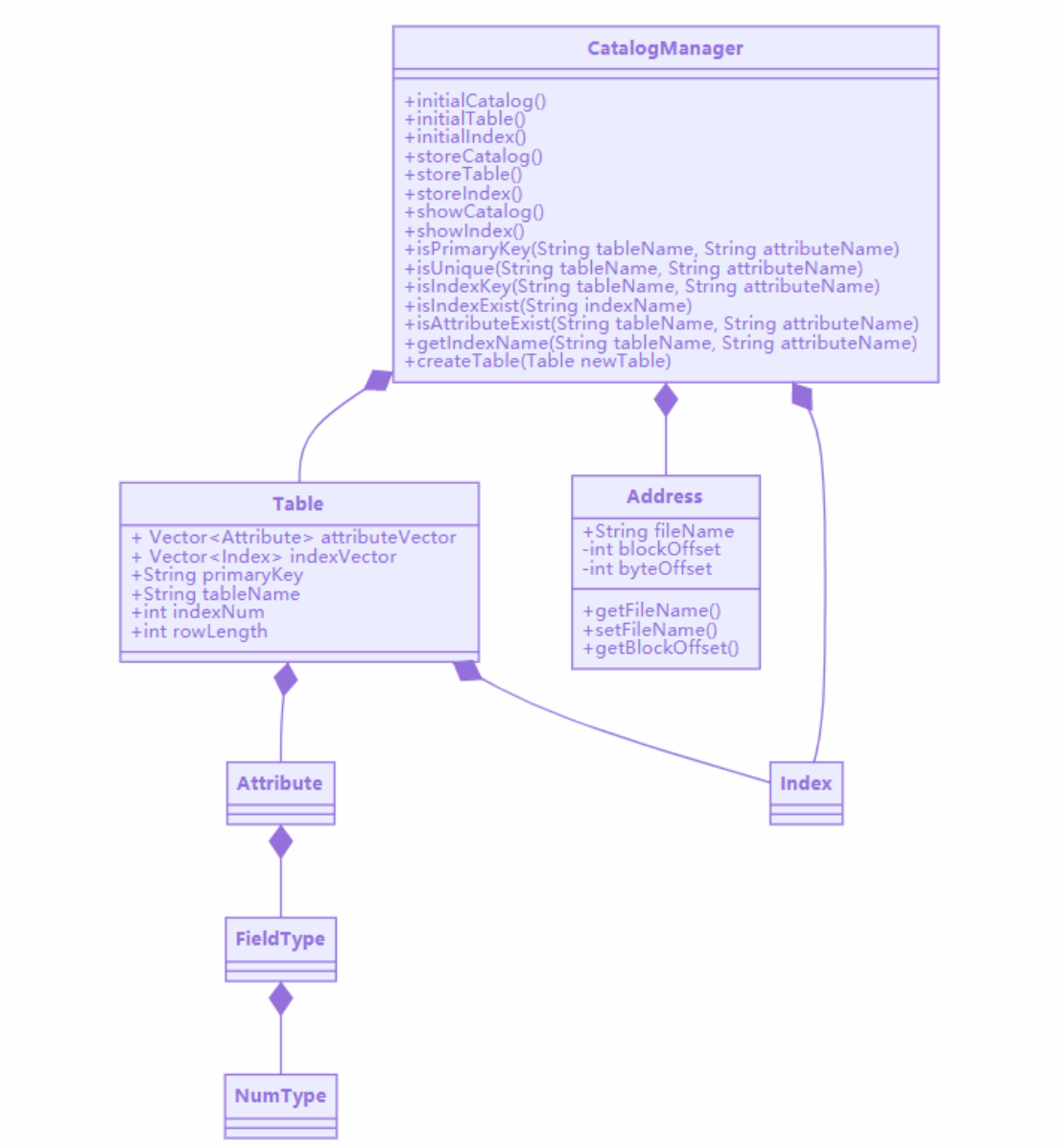


2.5.6 Catalog Mananger

Catalog Manager 负责管理数据库的所有模式信息，包括：

- 数据库中所有表的定义信息，包括表的名称、表中字段（列）数、主键、定义在该表上的索引。
- 表中每个字段的定义信息，包括字段类型、是否唯一等。
- 数据库中所有索引的定义，包括所属表、索引建立在那个字段上等。

Catalog Manager 还必需提供访问及操作上述信息的接口，供 Interpreter 和 API 模块使用。同时 Catalog Manager 中完成了一系列 Table 和和 Address 等元信息存储结构，具体的类图如下：



2.5.7 数据文件

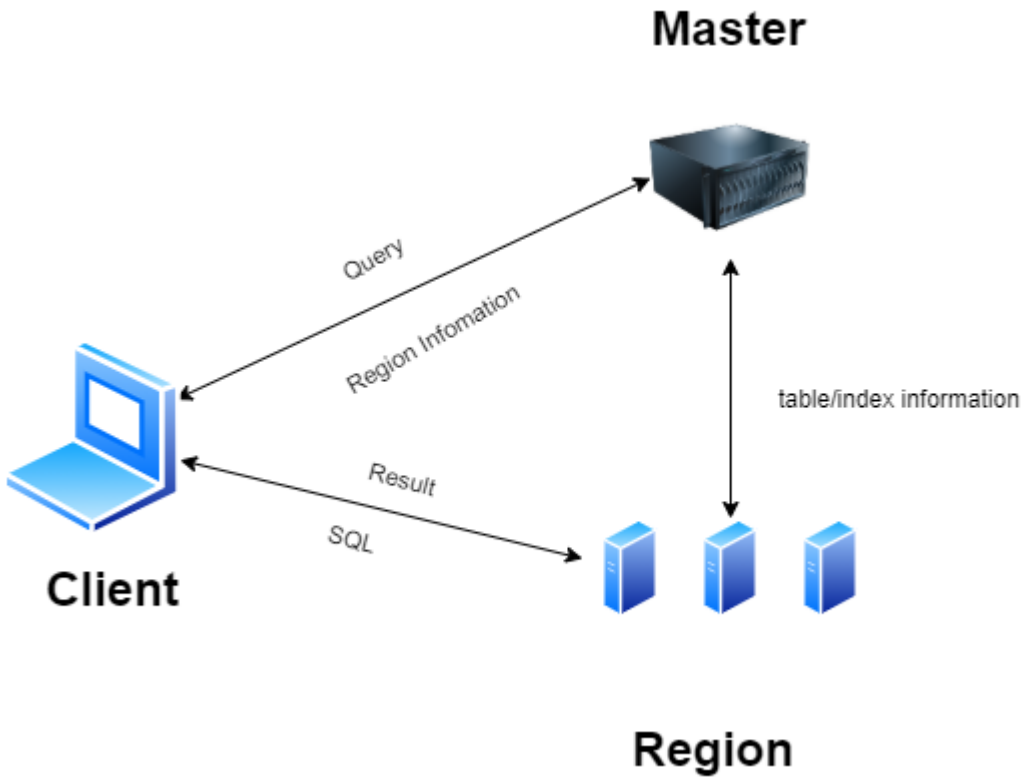
DB Files 也就是数据库的文件系统，指构成数据库的所有数据文件，主要由记录数据文件、索引数据文件和 Catalog 数据文件组成。

三、核心功能模块设计与实现

3.1 Socket 通信架构与通信协议

3.1.1 系统通信架构

本系统实现了 Client，Master 和 Region 之间的两两通信，通过 Socket 连接建立稳定可靠的通信与异步的 IO 流，同时制定了一系列通信协议，用于确保通信的可靠性和准确性，系统的总体通信架构如下图所示：



其中 Client 和 Master 以及 Master 和 Region 的连接是一直存在的，而 Region 和 Client 的通信在每次执行 SQL 语句需要换 Region 时会重新建立和目标 Region 对应的服务器，总体而言，三种不同的模块之间的通信都是全双工的。

3.1.2 通信协议设计

协议格式	返回格式	用途	含义
<client>[1] tableName	<master>[1]ip	用于客户端和主服务器的通信	向主服务器查询该表所在的 Region 服务器
<client>[2] tableName	<master>[2]ip	用于客户端和主服务器的通信	向主服务器发送一个建表的请求，并由主服务器使用负载均衡算法分配一个 Region
<master>[3]ip# name@name	<region>[3] Complete disaster recovery	用于主服务器和从节点的通信	容错容灾策略，主节点给负载小的从节点发送挂掉从节点的 ip 与所有的表，从节点根据这些信息去 ftp 服务器上下载相应备份
<master>[4]recover	<region>[4] Online	用于主服务器和从节点的通信	恢复策略，从节点重新上线，主节点给从节点发消息，让该从节点删除所有旧的表

3.2 客户端缓存与分布式查询

本系统中我们实现了客户端缓存，可以大大降低查询所需的时间，提高 IO 的效率，缓存通过一个 HashMap 实现，并且会定期更新和清除缓存的内容，客户端在向服务器发送 SQL 语句之前先对输入的 SQL 语句进行一个简单的解析，提取出要处理的表名或者索引名，然后在缓存中先进行查询，如果查到了对应的 Region 地址就直接和 Region 进行连接，如果没有查到就和 Master 先连接并获取 Region 的地址之后再和 Region 连接。

因此本系统实现了所谓的分布式查询，即客户端执行 SQL 语句时，并不是所有时候都依赖 Master 提供的元信息，而是使用一套分布式的缓存功能（缓存分布在各个客户端上），有的时候客户端可以直接实现和 Region 的连接以及通信，并不完全依赖主服务器，因此也具有一定的容错容灾能力（当然主要的容错容灾能力并不依赖于缓存）

3.3 数据分布与集群管理

本系统作为一个分布式数据库，必须要对数据分布进行合理的设计。在本系统中，为简化处理，一个表就是一个 Region。每个从节点管理着若干个 Region，也就是管理着若干张表。主节点则记录了每个从节点和自己管理的表的对应关系。当客户端需要对某张表进行操作时，则访问主节点获取表所对应的从节点并进行访问；当有从节点挂掉，主节点执行容错容灾策略时，同时也要更新自己所存储的表的对应关系。这部分具体的内容在 3.5 容错容灾中详细阐明。

集群管理，则利用 zookeeper 进行。当每个从节点连入时，首先需要在 zookeeper 的 db 目录下完成自己的注册，编号是 Region_0、Region_1 等依次递增。通过 zookeeper 进行集群管理，我们可以确保当节点增加、失效、恢复时，能够监听到，并做出相应的处理。

3.4 均衡负载

本系统中我们实现了负载均衡。当我们要新创建一张表时，主节点永远会选

择表最少的从节点进行创建。当我们要执行容错容灾时，永远是把挂掉从节点的表的备份转移到表最少的从节点上。

在进一步的设计中，我们还想解决热点问题。主节点每隔一段时间，都会给自己管理的所有从节点发消息，让他们返回自己从收到消息到下一次收到消息的这段时间内，所收到的访问次数以及每张表的访问次数。主节点收到从节点的所有消息后，对消息进行处理，如有热点问题出现，即一个 RegionServer 中有两张表都访问非常频繁时，把这张表删除，转移到另一个访问相对不频繁的从节点上。

3.5 副本管理与容错容灾

本系统通过 FTP 备份实现了副本管理功能，每当从节点检测到客户端发送的命令对数据库的数据进行了修改，就把修改后的数据在 FTP 上进行更新。这里还有一种策略，是另启一个线程，每过固定的一段时间就把从节点保存的数据在 FTP 上进行更新。不过我们经过讨论，为了方便测试，还是使用了当前这种策略。

容错容灾是在副本管理功能基础上完成的。一方面，主节点通过 zookeeper 监测到有从节点宕机，立刻从正常工作的从节点中选出最优的从节点，也就是存放表数量最少的从节点，并向该最优从节点发送信息<master>[3]ip#file，让该最优从节点执行失效策略，也就是把信息中包含的表全部通过 FTP 下载到本地，并将宕机从节点的 table_catalog 和 index_catalog 追加到本地的 table_catalog 和 index_catalog 之后。另一方面，当宕机的从节点重启后，主节点监测到该事件，向其发送<Master>[4]recover，要求该从节点执行恢复策略，即把之前的表和索引数据全部清空，完成之后向主节点发送<Master>[4]online，即完成容错容灾流程。

四、系统测试

在项目的测试部分，我们使用了 3 台计算机，在本地运行了 1 个 Master，3 个 Region 和 2 个 Client(其中一个后面才打开)，由于是分布式的系统，因此最终的测试截图如下：

4.1 初始化

当运行所有准备好的 Master，Region 和 Client 时，整个系统运行初始化的结果是：

- 客户端

```
新消息>>>客户端的主服务器监听线程启动!
Distributed-MiniSQL客户端启动!
```

- 从节点

```
从节点开始运行!
新消息>>>从节点的主服务器监听线程启动!
服务端建立了新的客户端子线程: 59594
服务器监听客户端消息中/10.181.241.13359594
要处理的命令: create table stu (id int, name char(10), score float, primary key(id)) ;
-->Create table stu successfully
服务端建立了新的客户端子线程: 59651
服务器监听客户端消息中/10.181.241.13359651
要处理的命令: insert into stu values (1, 'zq', 100.0) ;

stu
success
```

- 主节点

```
2021-06-09 23:17:10,063 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 服务器目录新增节点: /db/Region_1
2021-06-09 23:17:10,064 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 新增服务器节点: 主机名 Region_1, 地址 10.181.241.133
2021-06-09 23:17:10,064 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 对该服务器Region_1执行新增策略
2021-06-09 23:17:10,802 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[1]
服务端建立了新的客户端子线程:/10.162.11.58:57603
服务端建立了新的客户端子线程:/10.181.241.133:59548
```

4.2 创建表

```
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句:
create table stu (id int, name char(10), score float, primary key(id)) ;
create table stu (id int, name char(10), score float, primary key(id)) ;
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句:
存入缓存: 表名stu 端口号: stu
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动!
新消息>>>从服务器收到的信息是: <result>-->Create table stu successfully!
```

4.3 插入记录

```
insert into stu values (1, 'zq', 100.0) ;
insert into stu values (1, 'zq', 100.0) ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表! 其对应的服务器是: 10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动!
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句:
新消息>>>从服务器收到的信息是: <result>-->Insert successfully
insert into stu values (2, 'zyc', 100.1) ;
insert into stu values (2, 'zyc', 100.1) ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表! 其对应的服务器是: 10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动!
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句:
新消息>>>从服务器收到的信息是: <result>-->Insert successfully
```

4.4 查询记录

4.4.1 条件查询

```
select * from stu where score>100 ;
select * from stu where score>100 ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表！其对应的服务器是：10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动！
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句：
```

```
新消息>>>从服务器收到的信息是：<result>|id|name|score|
新消息>>>从服务器收到的信息是：---------------
新消息>>>从服务器收到的信息是：|2 |zyc |100.1|
新消息>>>从服务器收到的信息是：-->Query ok! 1 rows are selected
新消息>>>从服务器收到的信息是：Finished in 0.003 s
```

4.4.2 全部查询

```
select * from stu ;
select * from stu ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表！其对应的服务器是：10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动！
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句：
新消息>>>从服务器收到的信息是：<result>|id|name|score|
新消息>>>从服务器收到的信息是：---------------
新消息>>>从服务器收到的信息是：|1 |zq  |100.0|
新消息>>>从服务器收到的信息是：|2 |zyc |100.1|
新消息>>>从服务器收到的信息是：-->Query ok! 2 rows are selected
新消息>>>从服务器收到的信息是：Finished in 0.0 s
```

4.5 删除记录

```
delete from stu where id=1 ;
delete from stu where id=1 ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表！其对应的服务器是：10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动！
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句：
新消息>>>从服务器收到的信息是：<result>-->Delete 1 row(s).
select * from stu ;
select * from stu ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表！其对应的服务器是：10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动！
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句：
新消息>>>从服务器收到的信息是：<result>|id|name|score|
新消息>>>从服务器收到的信息是：---------------
新消息>>>从服务器收到的信息是：|2 |zyc |100.1|
新消息>>>从服务器收到的信息是：-->Query ok! 1 rows are selected
新消息>>>从服务器收到的信息是：Finished in 0.0 s
```

4.6 删除表

```
drop table stu ;
drop table stu ;
新消息>>>客户端缓存中存在该表！其对应的服务器是：10.181.241.133
connectRegionServer : 10.181.241.133
新消息>>>与从节点10.181.241.133建立Socket连接
新消息>>>客户端的从服务器监听线程启动！
新消息>>>请输入你想要执行的SQL语句：
新消息>>>从服务器收到的信息是：<result>-->Drop table stu successfully!
```

4.7 均衡负载

- 主服务器消息记录：

```
2021-06-09 23:17:10,063 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 服务器目录新增节点: /db/Region_1
2021-06-09 23:17:10,064 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 新增服务器节点: 主机名 Region_1, 地址 10.181.241.133
2021-06-09 23:17:10,064 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 对该服务器Region_1执行新增策略
2021-06-09 23:17:10,802 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[1]
服务端建立了新的客户端子线程:/10.162.11.58:57603
服务端建立了新的客户端子线程:/10.181.241.133:59548
2021-06-09 23:17:28,899 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <client>[2]stu
2021-06-09 23:17:32,729 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[2]stu add
2021-06-09 23:17:36,625 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <client>[2]test
2021-06-09 23:17:39,897 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[2]test add
```

4.8 副本管理与容错容灾

- 主服务器执行失效时候的备份和恢复策略

```
2021-06-09 23:18:26,570 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 服务器目录新增节点: /db/Region_2
2021-06-09 23:18:26,571 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 新增服务器节点: 主机名 Region_2, 地址 10.181.247.33
2021-06-09 23:18:26,571 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 对该服务器Region_2执行新增策略
2021-06-09 23:18:27,385 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[1]
2021-06-09 23:18:43,643 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 服务器目录删除节点: /db/Region_1
2021-06-09 23:18:43,644 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 服务器节点失效: 主机名 Region_1, 地址 10.181.241.133
2021-06-09 23:18:43,644 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 对该服务器Region_1执行失效策略
2021-06-09 23:18:43,644 WARN [MasterManagers.utils.ServiceStrategyExecutor] - bestInet:10.181.247.33
2021-06-09 23:18:47,215 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[3]Complete disaster recovery
2021-06-09 23:18:47,217 WARN [MasterManagers.SocketManager.RegionProcessor] - 完成从节点的数据转移
```

```
2021-06-09 23:19:47,317 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 服务器目录新增节点: /db/Region_3
2021-06-09 23:19:47,319 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 新增服务器节点: 主机名 Region_3, 地址 10.181.241.133
2021-06-09 23:19:47,319 WARN [MasterManagers.utils.ServiceMonitor] - 对该服务器Region_3执行恢复策略
2021-06-09 23:19:47,896 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <region>[1]test
2021-06-09 23:19:48,901 WARN [MasterManagers.SocketManager.SocketThread] - <master>[4]Online
```

五、总结

本次课程项目中，我们小组三人通力合作，完成了一个分布式的关系型数据库系统，在数据库系统课程所做的 miniSQL 基础之上为其扩展出了 Java 版本，并在 miniSQL 的基础上引入了 Zookeeper 集群管理，将其扩展成了一个具备分布式存储，数据分区，均衡负载，副本管理和容错容灾的分布式数据库系统，在这一过程中我们收获良多。