NaiveDB项目文档

作者信息

纳鑫

- 学校：清华大学软件学院
- 学号：2016013276
- Email：naxinlegend@outlook.com

李帅

- 学校：清华大学软件学院
- 学号：2016013270
- Email：lishuai16THU@163.com

王泽宇

- 学校：清华大学软件学院
- 学号：2016013258
- Email：ycdfwzy@outlook.com

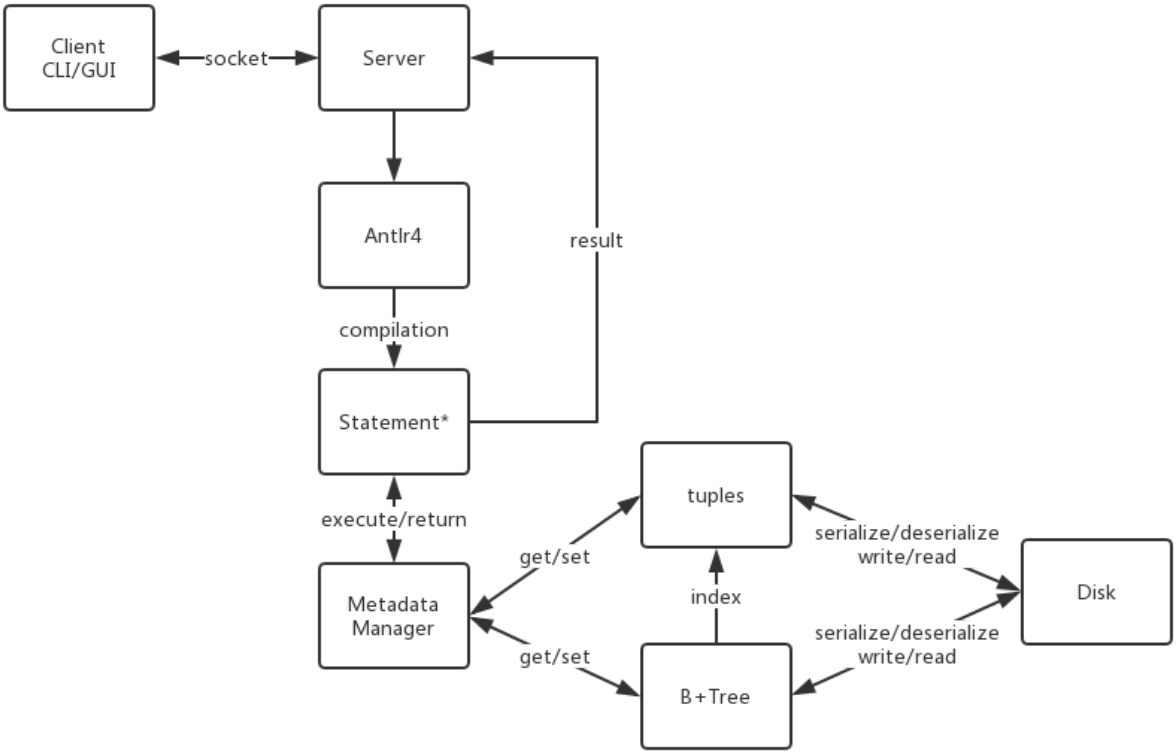
项目简介

NaiveDB是一个简易的数据库，支持五种数据类型：Int，Long，Float，Double，String（定长字符串）；一些简单的数据库操作：建立删除切换Database、创建删除Table、记录的增删改查；客户端（命令行和服务器版）与服务端的连接。

使用介绍

使用介绍请见Github仓库的Wiki。

数据库设计



整体流程参见上图

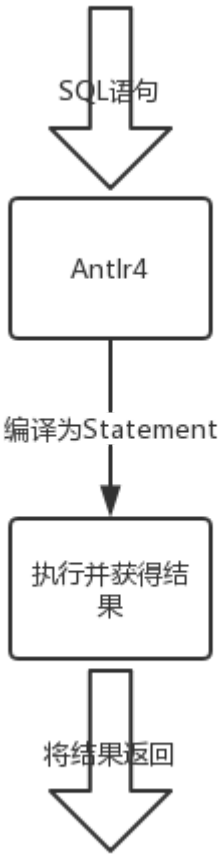
存储模块

见`存储模块.pdf`

元数据处理管理模块

见`元数据处理管理模块.pdf`

查询模块



首先将输入的SQL语句编译为Statement*类。这里编译采用了Antlr4的Visitor模式。Statement*类拥有exec()的执行函数，可以将执行编译好的SQL语句，并将返回结果，遇到执行错误会抛出异常。 对于where子句和on子句后面的条件判断，我们支持了and/or以及复杂的逻辑嵌套。我们通过实现Conditions类来实现这个功能：Conditions类本质上是一个二叉树节点类，每个节点或者有两个Conditions子节点，代表`cond1 and cond2`或者`cond1 or cond2`，或者有两个Expression类的成员变量，代表`expr1 op expr2`，`op`是二元比较副，包括等于、不等于、小于、小于等于、大于、大于等于。Expression类的实现方式类似于Conditions类，也是一个二叉树节点类，不过它标识了一个表达式的求值结构，具体实现就不再赘述。

Join的实现

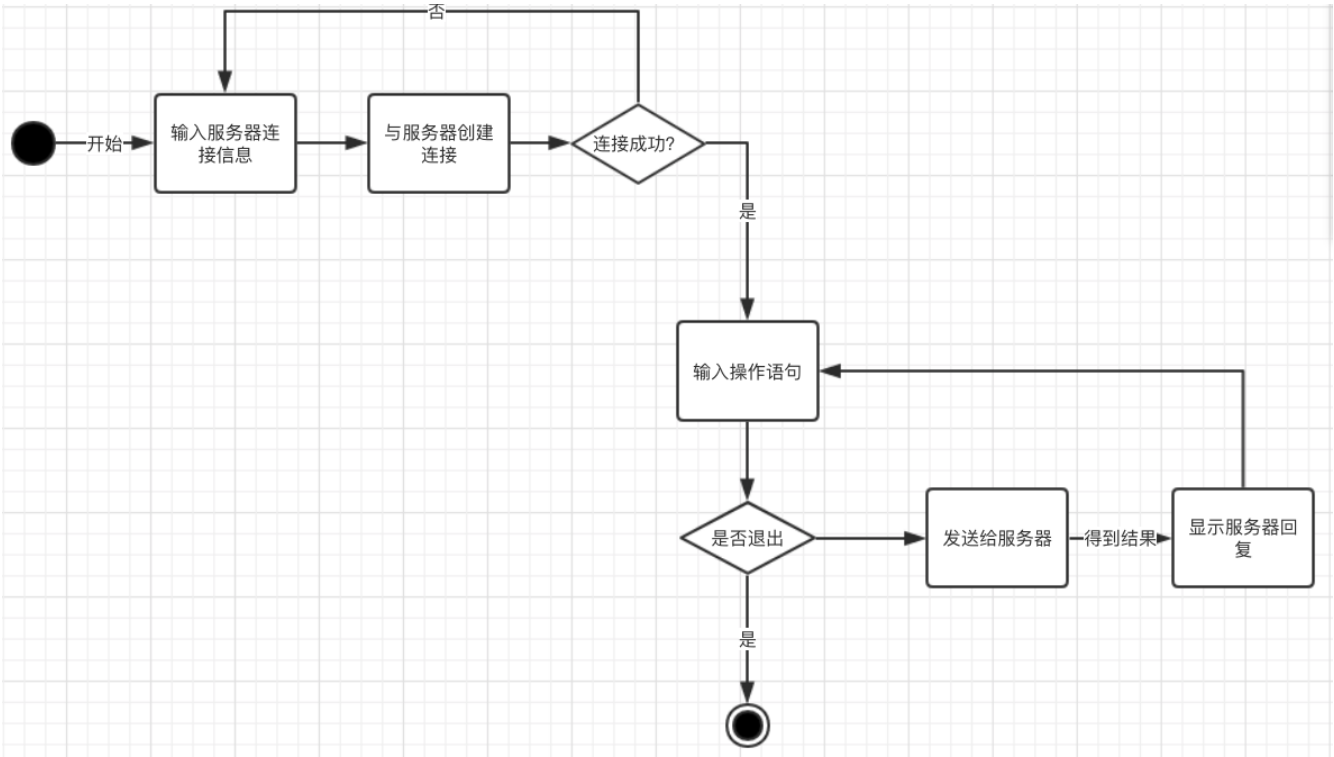
我们实现了对完整的Join操作的支持，包括

- natural join
- join...on...
- (left/right/full) outer join
- (inner) join
- 笛卡尔积
- 以上多种Join操作的复合（多表join）

我们的基本实现采用了Nested Loop Join。对于等值连接的操作我们采用了Hash Join进行优化，并且对于连接条件涉及到单表的操作我们也进行了一些优化，达到了较好的效果。具体实现请看下方亮点部分。

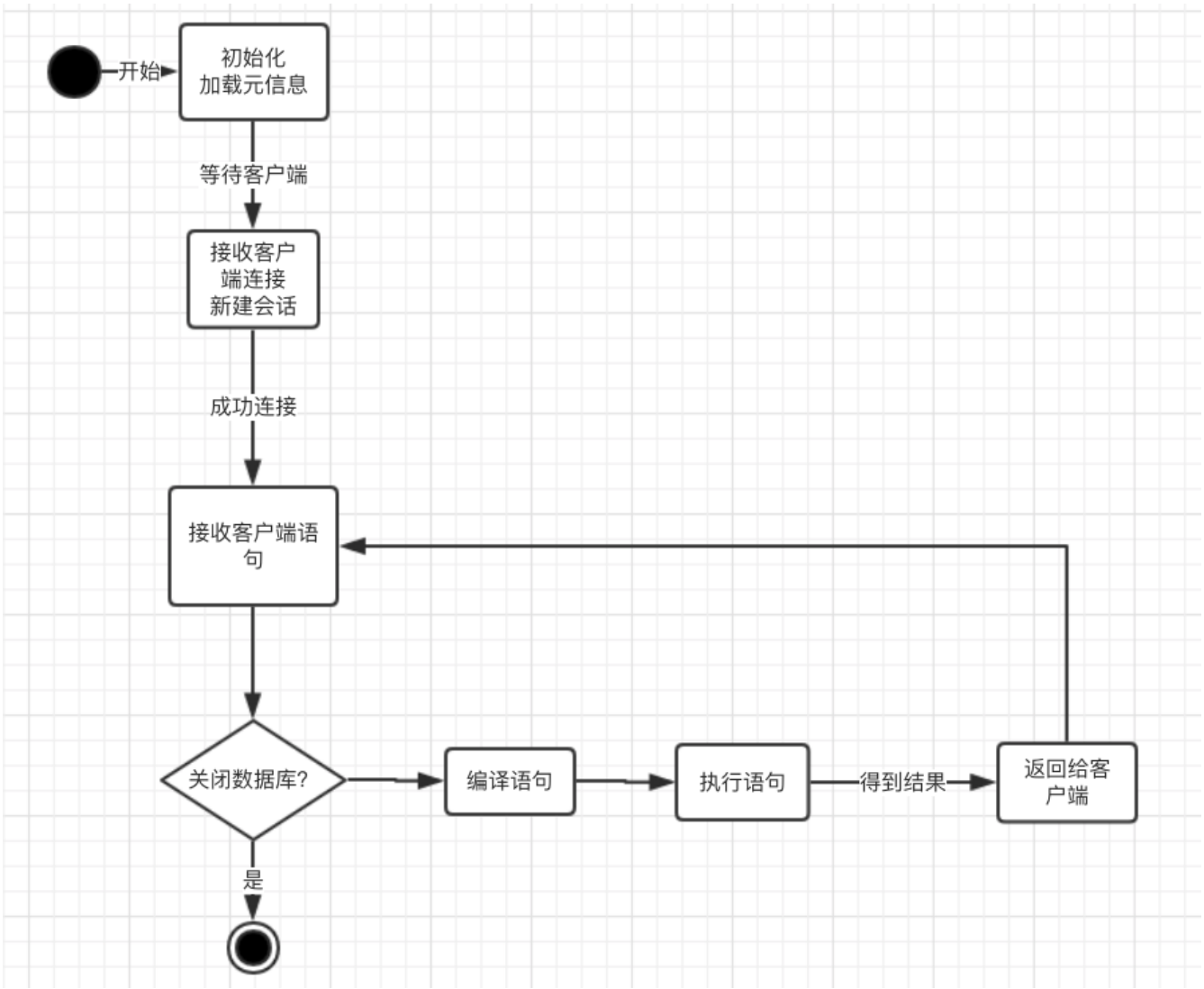
客户端通信模块

- 客户端总体流程



客户端启动时建立和数据库的连接，之后进入REPL循环，接收一条输入语句，将其传递给服务端，得到结果并展示，若为退出则传递给服务端后退出即可。

- 服务端总体流程



服务端等待与客户端建立的连接，建立成功后接收给出的语句，首先进行编译，之后执行，在编译-执行过程中出现错误都记录到结果中，最终一起返回给客户端，接收到关闭数据库的消息则关闭数据库。

- 通信方式

通信方面直接使用Socket通信，服务端和客户端通过套接字传递信息。在客户端发送给服务端的信息中，只包含了要传输的SQL语句（先传入一个整数表示SQL语句长度）。客户端在接收了SQL语句后直接执行，将其结果保存在一个`ServerResult`的对象的实例中，然后使用Java io的ObjectStream即对象流传输，其可以在套接字上直接传输一个对象，这样就省去了发送网络请求等麻烦。客户端接收到此对象的实例，然后根据其中的内容进行显示即可。

- 客户端实现

我们实现了命令行的客户端和GUI的客户端，具体使用方法请见使用介绍。命令行客户端方面，使用了jline包包装REPL，支持命令的编辑，查看历史命令以及命令的自动补。GUI方面使用JavaSwing编写，具体请见下方亮点部分。

亮点

B+树与查询优化

存储模块实现了B+树索引，并且利用B+树对下列查询做了优化（假设主键为`pk`）：

- 查询条件为`pk=x`，那么可以利用B+树做精确查询。

- 查询条件为`pk<x`，`pk<=x`，`pk>x`，`pk>=x`，可以利用B+树做区间查询
- 查询条件为`x<pk<y`，`x<=pk<y`，`x<pk<=y`，`x<=pk<=y`，同样可以利用B+树做区间查询。

如下图，当使用主键id为查询关键字时，从十万条数据中筛选仅需要9ms，而不使用主键，则需要高达1074ms。

```
naivedb> select * from stu where id='50000';
+-------+-----------+
| ID    | NAME      |
+-------+-----------+
| 50000 | name50000 |
+-------+-----------+
1 rows in set (9 mill sec)

naivedb> select * from stu where name='name50000';
+-------+-----------+
| ID    | NAME      |
+-------+-----------+
| 50000 | name50000 |
+-------+-----------+
1 rows in set (1074 mill sec)
```

缓存机制

我们在三个部分使用了缓存机制：持久化记录、B+树、表格Table。 在持久化记录中，我们允许在内存中常驻一定大小的记录（默认限制时1M，可以在Consts类中修改），缓存中的记录超过这一大小时，随机将一些记录写回磁盘。 在B+树中，一个节点存在一个page中，同样我们允许内存中常驻一定大小的节点（默认限制时1M，可以在Consts类中修改），缓存中的节点大小超过这一大小时，随机将一些节点写回磁盘。 对于表格Table，将其缓存到Database里，每个Database可以缓存一定数量的Table（默认缓存上限是10个，可以在Consts类中修改），缓存中的Table数量超过这一大小时，随机将一些Table写回磁盘。 在没有实现缓存机制时，我们测试执行1000条插入语句（每次必须将Table写回），共执行了9120ms（除去antlr的编译时间），加入了缓存及之后，仅执行了31ms（除去antlr的编译时间），效果拔群。

多数据库实例

我们支持多个数据库，在数据库首次初始化时，会创建`data`文件夹，在此文件夹中，每个文件夹是一个独立的数据库，这样数据库之间不会互相影响。 我们使用一个DatabaseManager类管理数据库，由于数据库管理者应该使用单体模式，故此类中的变量与方法都是静态的，调用时直接使用类名调用。在初始时会创建一个默认数据库“PUBLIC”，且此数据库不能被删除。 与数据库相关的SQL语句的使用方法请见使用介绍。

完整的Join语句支持

- 基本实现

我们通过实现RangeVariable类来实现Join功能。RangeVariable类是对查询范围的一个抽象，其本质是一个多叉树节点类。该节点分为内部节点和叶子节点，内部节点中包含一个RangeVariable的数组，其中保存了子节点的引用，表示一个`t1 join t2 join t3……`类型的子句；叶子节点中包含一个Table类型的成员变量，保存了一个Table实例的引用，代表一张单独的表。我们join的基础实现方式是Nested-Loop Join，其伪代码如下：

```
for row1 in t1
    for row2 in t2
        if (row1 combine row2) satisfied condition then add (row1 combine row2) to
temptable
```

为了防止内存的溢出，我们在执行该算法的中间过程并不保存实际的数据，而是保存每条数据在各表中的行号，只有在最内部判断该数据是否满足join condition时才会根据其行号和表实例的数组来获取完整的数据。因此每个RangeVarible中保存了一个名为`ArrayList<ArrayList<Long>> rowNumLists`的成员变量，表示每个子节点执行join操作所生成的中间结果。RangeVarible中还保存了一个`ArrayList<Table> tableList`的成员变量，表示每个行号所属的表。我们在RangeVaribale类中通过combineRows()函数来实现该过程。该函数会递归地调用子节点中的combineRows()函数，从而递归地进行join操作并生成相关的结果。 在执行select语句时当执行select操作时，Antlr4会将输入的SQL语句中的from子句解析成一棵RangeVariable树，然后调用根节点的exec()函数，该函数会调用根节点的combineRows()函数，该函数递归地实现了上述的Nested-Loop Join算法，其结果是上述的行号的列表，最后在exec()函数中根据tableList和rowNumLists获取实际数据，插入到一个TempTable实例中，最后将该TempTable返回。

- natural join实现

在解析from子句时，若一个join是natural join，在生成RangeVarible时会将其中的isNatural属性设为true。在执行combine()函数时，若当前RangeVariable的isNatural属性为true，则会调用processNatural()函数将当前的表的列名与前一个表的列名进行比较，当找到同名的列时就生成一个condition并加入当前的join condition中，然后将相同两列中的其中一列加入到ignoreColumns数组中，之后就按照普通的join操作进行处理。

连接优化

- Hash Join优化

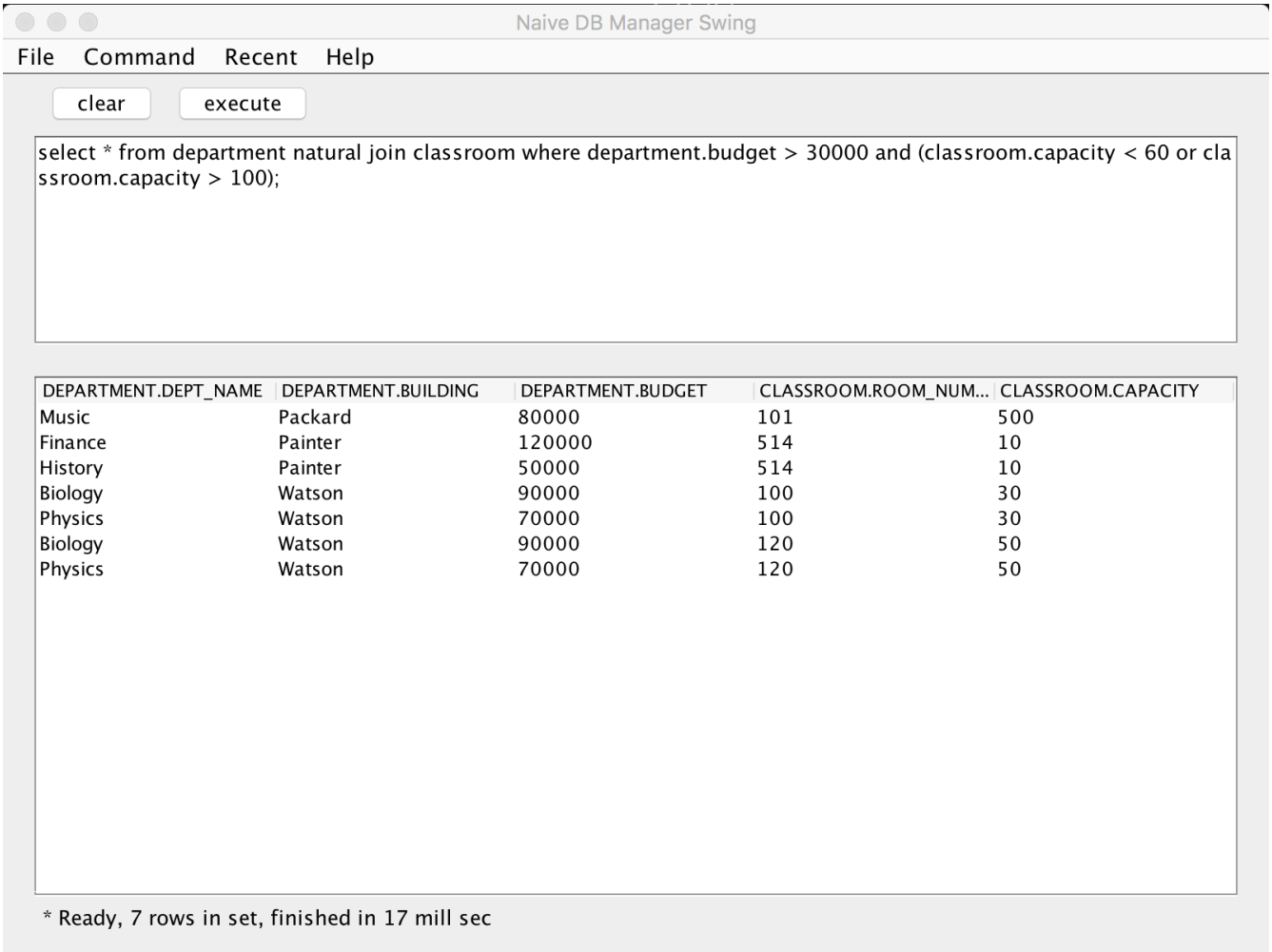
在每次执行join操作时，我们先判断join condition是否是等值连接，若是则采用一个类似Hash Join的算法来执行join操作。其伪代码如下：

```
for row1_value, row1_num in t1
    add (row1_value, row1_num) to HMap
for row2_value, row2_num in t2
    if HMap.containKey(row2_value) then add (HMap.getByKey(row2_value) combine row2_num) to
tempTable
```

即首先遍历第一张表，使用一个HashMap来保存第一个表中的值到行号的映射，然后遍历第二张表，若在HashMap存在以第二张表中的某个值为键的映射，则将该键对应的行号取出，然后与第二张表中的对应的行号进行连接并加入到中间结果中。由于HMap.containKey()和HMap.getByKey都采用Hash来进行查询，因此都是*O(1)*的时间复杂度，故该算法的复杂度是*O(m+n)*，其中*m*和*n*是两张表的大小。对比Nested Loop Join的*O(m*n)*的复杂度具有极大的提升。

友好的图形界面客户端

我们的GUI客户端如下：



上方菜单栏中，File菜单下可以打开、保存、执行一个脚本文件；Command菜单下可以快捷输入指令，执行指令等；Recent下保存了最近执行的20条指令。 下方分别是命令输入框以及结果显示框。 最下方显示了上次执行的结果，行数以及执行时间。

组内分工

- 王泽宇：存储模块、部分查询模块
- 纳鑫：元数据管理模块、客户端
- 李帅：查询模块

课程建议

- 建议教学时段可以增加同学分享环节。
- 建议增加大作业小组人数，并适当提高作业要求，这样每个组可以做出更好的成果。