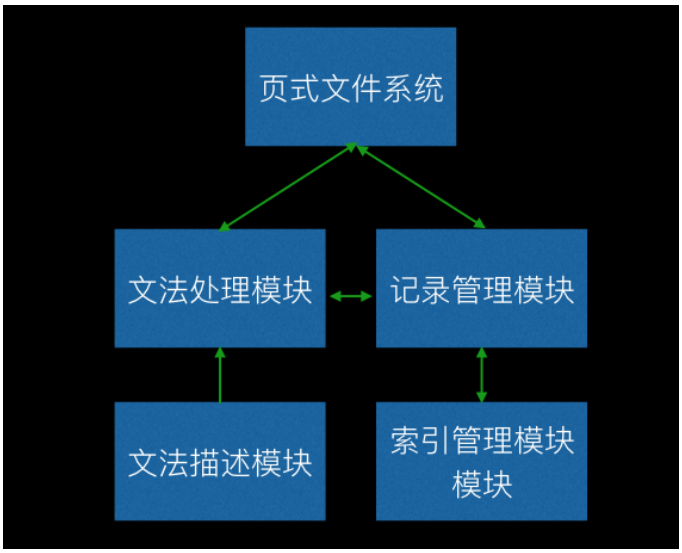
数据库大作业 总结报告

计 65 赖金霖 2016011377

一、系统架构设计



我实现的数据库系统架构如上，其中箭头表示数据的流向。用户的输入首先进入文法描述模块，通过 flex+bison 的工具处理成程序理解的操作，传给文法处理模块。文法处理模块的功能是具体执行每一条语句，如果是系统操作就直接通过页式文件系统修改配置文件，如果是记录相关操作则通过记录管理模块进行操作。记录管理模块实际上是管理每张表及其索引，索引管理模块不直接访问页式文件系统，而通过记录管理模块间接访问。这样做的好处是，给文法处理模块一个统一的接口，并且对记录的操作能很方便地同步体现在索引上（如保证插入、删除、修改之后同步保存）。

二、各模块详细设计

1、文法描述模块

这部分包括 lexer.l 和 Parser.y 两个文件，其中 lexer.l 描述了定义了每个词语（区分大小写），Parser.y 描述了每个 SQL 语句的语法。一条语句先被分成许多词语，然后被 Parser 识别成语法，最终被翻译成一个使用 visitor 设计模式的类，类的成员变量为语句所需要的变量，类中还有 accept 成员函数表示执行这一条语句。

这一部分一开始有一个的严重问题，Parser 在处理一些很长的语句（如插入几万条记录）时复杂度退化到 O(n^2)。对于反复的文法，有左递归和右递归两种实现方法，左递归的复杂度为 O(n^2)，而右递归的复杂度为 O(n)。我遇到的问题是左递归很慢，实现右递归后程序报错，经分析后我发现右递归需要一个和输入同长的符号栈支持。问题是首先我的语法树上每个结点需要的空间都很大，其次 bison 的默认配置中符号栈很小。我把每个结点改成指针类型（Parser.y 每一条语法都要增加一行 new semvalue()），虽然程序变得丑陋，但是节省了栈空间，然后我通过

```
#define YYMAXDEPTH 1000000
#define YYINITDEPTH 800000
```

的命令修改了默认栈大小，使得很长的指令也能右递归实现。

这一部分的实现有许多细节：

• Parser 不需要像编译器那样遍历语法树，其实只要在语句级的语法结点建立类，然后在 Statement 级的语法结点访问 accept 函数，就可以满足语句解析的要求。

•Lexer 和 Parser 生成的都是 c 语言程序，但我为了方便使用 new 语句及 c++模板库，仍然用 g++编译。

•parsertestmain.cpp 是很简短的主程序代码，作用是把输入完全交由 yyparse 函数处理，因此如果用文件输入，执行完需要手动 Ctrl+C 退出。

• 我对浮点数、日期的处理都相当 tricky。浮点数由数字+'.'+数字组成，因此还不能识别科学记录法，但已经支持现有的数据集。日期最多 8 位，我用一个 int 存储，十进制下第 5~8 位位年，3~4 位为月，1~2 位为日，这么做可以直接对日期比较大小，因此支持在日期上建立索引。日期格式为数字+'-'+数字+'-'+数字，还可以从字符串转化（去掉字符串两端的'，匹配前面的数字格式）。

• 对于字符串，我用

```
'(\\'|[^'])*'
```

的正则表达式匹配，满足了转义字符的要求。

• 为了支持退出，我增加了 EXIT;命令，表示退出数据库。

2、文法处理模块

这一部分主要是 handler.cpp（最大的一个文件）和 handler.h 文件。在 handler.cpp 中，定义了每种语句类的 constructor 和 accept 函数，以及这些函数用到的辅助函数。

文法分为系统文法和记录文法两种。在每一条系统文法执行前，有一个 checkglobalconfig()函数被调用，作用是检查目录下是否有.config 文件，如果没有则建立。这一文件的作用是存储所有数据库名，用于 SHOW DATABASES;语句。下面对所有语句的具体实现进行说明：

CREATE DATABASE db;被分解成三步：建立同名文件夹、建立 db/.config 文件、在.config 文件中增加数据库。其中 db/.config 文件存储了表的信息，第一页存储表的名字和详细信息的位置（在第几页），之后每一页表示一张表的详细信息，包括表的名字和每一列的类型、大小等。

DROP DATABASE db;只需要删除文件夹、并删除.config 文件中的信息就行了。需要注意的是我通过用.config 文件中最后一条数据库信息覆盖被删除的数据库信息来删除，因此假如当前数据库显示为 db1,db2,db3，删除 db1 之后显示会变成 db3,db2。

USE DATABASE db;程序执行这一条语句时从 db/.config 读出表的列表，并对每一张表，在 RecordManager 里打开表文件，再识别并读出所有索引。

SHOW TABLES;程序切换数据库时直接读取了表的信息，所以这一条语句直接输出存储的内容。

CREATE TABLE …;程序执行建表操作分两步：一是检查语法是否合法，比如 PRIMARY KEY 是否存在、FOREIGN KEY 是否合法、COLUMN NAME 是否重复等；二是计算出所有列信息并存于 db/.config 中。程序获取这些列信息有两个函数 GetColumn 和 GetColumns，分别表示从文件中获取一个表的某一列信息（类型、位置等）和一个表的所有列信息。

DROP TABLE …;删除表只需要删除相关文件并删除 db/.config 内的信息。

DESC tb;调用之前的 GetColumns 函数，直接输出信息即可。

INSERT INTO …;插入记录分两步：检查合法性、插入记录。程序除了检查类型

是否匹配外，还会检查 FOREIGN KEY 是否存在，PRIMARY KEY 是否重复。当所有待插入记录看上去合法之后，程序才依次执行插入。这里有一个实现上的问题，我预想的日期格式（yyyy-mm-dd）和 orderDB 不一样，所以在 orderDB 插入日期时是把 STRING cast 成 DATE，日期合法性无法在前一阶段检查，所以在插入过程中如果检查到日期不合法，程序就会退出，舍去之后的记录。

DELETE FROM …;删除涉及到对 WHERE 的解析，有多种实现方法。我的方法是先检查语义合法性（条件是否可比之类的），然后从 WHERE 中找到一条区间操作（大于、小于之类的），如果区间操作的列上有索引，就可以用索引提前筛选出一些记录，如果没有索引，就只能获取全部记录。在这之后，程序循环遍历所有记录，对每条记录判断是否符合 WHERE 的限制，如果符合就加入待删除列表，最后统一删除。

UPDATE …;UPDATE 相当于先 DELETE 后 INSERT，UPDATE SET 需要经过 INSERT 语句中的检查，WHERE 限制的筛选方式和 DELETE 语句类似，最后统一进行 UPDATE。这里有一个细节，如果 UPDATE 了 PRIMARY KEY，需要检查 UPDATE 的数量是否＞1，如果＞1，会造成重复的 PRIMARY KEY，我这里的处理是直接退出报错，一条也不更改。

SELECT …;SELECT 语句首先检查 SELECTOR 和 TABLE LIST 是否合法，然后根据 WHERE 里的区间操作和是否有索引对每一张表都筛出一部分记录或者全部记录（与 DELETE 里类似）。和 DELETE 不同的是，SELECT 需要进行一个递归，我用 WHILE 循环模拟这一递归，实现表之间的笛卡尔积。这个递归可能很慢，我有一个小的优化，递归的每一层枚举的是一张表的元素，如果低层的值确定了，高层的记录范围可能会因为 WHERE 语句缩小，因此在低层确定枚举的记录之后，我对高层记录进行了一次筛选（如果有 INDEX），快速提高了一些场景下多张表连接的速度（如用 FOREIGN KEY SELECT）。

CREATE INXEX …;我做的是对相邻 4byte 支持索引。这样能直接加速 INT,FLOAT,DATE 的查询速度，看上去无法加速 CHAR。但实际上我的实现中 CHAR 前 4byte 存储长度，用 INDEX 筛选并不是错误的，只是范围略粗糙。

DROP INDEX …;记录管理模块识别是否有 INDEX 是靠是否有对应的文件判断的，所以直接删除文件就能删除 INDEX。

3、记录管理模块

记录管理模块有三大功能：文件管理、记录管理、索引管理。

文件管理调用了页式文件系统，把对一张表的操作包装成函数，向文法处理模块提供接口。文法处理模块对一张表进行一次操作时，会依次调用记录管理模块的一些函数，但此时结果没有存到文件里，只有当文法处理模块调用 saveFile 函数时，修改才被反映到文件里。

记录管理是把对一张表的操作翻译成对文件的操作，文件维护了记录数量、记录长度、页数量等信息，插入操作是插入到末尾，删除操作是用末尾覆盖被删除记录，查找函数 filterRecord 需要提供 checker。我的记录实际存储长度比定义长度多 4，作用是多一个内部的 PRIMARY KEY 方便查找，我在打开文件时会自动给这一个字段添加索引。

索引管理有四个函数：createIndex, hasIndex, findbyIndex, deleteIndex。功能如字面意思，其中 findbyIndex 是有索引之后 filterRecord 函数的替代品。

4、索引管理模块

索引管理模块总体上是一个 B+ Tree。每个结点都可以变成一个 CHAR*，存于

文件，而文件里的 CHAR*也能翻译成 B+ Tree Node。B+ Tree 维护的是值->存储位置的映射，在查询时还要依赖记录管理模块把对应位置的记录提取出来，不过能因此能省下不少空间。B+ Tree 内部还维护了存储位置->值的映射（存储位置通常很小，因此很容易维护），方便了许多操作。

三、接口说明

1、文法描述模块

这部分没有什么接口，主程序调用 yyparse()函数，就把输入全部交给文法描述模块了。需要注意的是语法树结点的 semvalue 类特别大（为了统一维护所有语法），最好使用指针。

2、文法处理模块

文法处理模块是频繁调用其他模块函数的一个模块，对外接口在 handler.h 内。其中有 Type、Value、Set、Column、Selector、Expr、WhereItem、Field 类，分别表示文法里的类型（INT、FLOAT 之类的）、值（具体值）、对 Column 的更改、对 Column 的描述、Select 的列、右值、Where 项、列信息。而每条 SQL 语句都被翻译成 Handler 类的子类，定义也在 handler.h 中，使用相应的 constructor 建立 handler 之后，调用 accept 就可以在程序内部执行相应的语句。

3、记录管理模块

记录管理模块有一个 RecordFilter 类，用于 filterRecord 判断一条记录是否需要返回。它有五个已经实现的子类：EqualFilter、GreaterFilter、LowerFilter、RegexFilter、TransparentFilter，功能如字面所示。

此外，这一模块的函数有：

void createFile(const char*, int)：根据名字和记录长度创建表。

void deleteFile(const char*)：根据名字删除一张表。

int openFile(const char*)：打开一张表，返回表的编号。

void saveFile(int)：根据表编号存储一张表。

bool closeFile(int)：根据表编号关闭一张表。

void closeAll()：关闭所有表。

int insertRecord(int,const char*)：根据表编号插入一条记录，返回记录编号。

int findRecord(int,int)：根据表编号和记录编号查找一条记录在文件中的位置。

bool deleteRecord(int, int)：根据表编号和记录编号删除一条记录。

bool renewRecord(int,int,char*)：根据表编号和记录编号更新一条记录。

std::vector<char*> filterRecord(int,int,int,const char*,RecordFilter*)：根据表编号、查找区间左端点、查找区间右端点、给 checker 传入的字符串、checker 来筛选记录，其中每条记录的前 4byte 存储记录编号。

uint parseIndex(const char*)：这个函数和索引无关，功能是从 filterRecord 的一条结果获取这条记录的编号（前 4byte 变成 int）。

int getRecordLength(int)：根据表编号获取记录长度。

bool hasIndex(int,int)：根据表编号和索引编号判断一张表是否有某个记录（记录编号为列左端点/4）。所有的 Index 操作都要考虑内部的 PRIMARY KEY，比如第一列的 INDEX 编号为 1，左端点为 4，右端点为 8。

int createIndex(int,int,int)：根据表编号、列左端点、列右端点建立索引，返回索引编号。部分出于稳定存储空间的考虑（否则 B+ Tree 结点大小不一定），程序只实现了右端点-左端点=4 的索引。

void deleteIndex(int,int)：根据表编号、索引编号删除索引。

std::vector<char*> findbyIndex(int,int,int,int)：根据表编号、索引编号、查找下界、查找上界用索引筛选出一些记录。

4、索引管理模块

BTreeNode 类是一个 B+Tree 的结点，它有 tobuffer()函数，用于把自己变成 buffer 类型。

BTree 类是实际的 B+Tree，有以下函数：

std::vector<uint*> tobuffers()：把整棵树转成 buffer 类型。

void insertdata(int,int)：插入一条数据（值->位置）。

void changedata(int,int)：根据旧位置获取值，然后改成新位置（输入旧位置、新位置，把值->旧位置改成值->新位置）。

std::vector<int> finddata(int,int)：根据值的区间（左闭右开），返回位置列表。

int findexact(int)：根据值查找一个位置。

void deletedata(int)：根据位置删除数据。

void buildtree(std::vector<uint*>& inp)：从 buffer 类型建立 B+Tree。

四、实现功能及实验结果

我实现了所有基础功能，包括数据库管理、表管理、记录操作。除此之外的扩展功能有创建删除索引、三张及以上表的连接。

对最终的大数据集，在对四张表的 id 建立索引之后，插入所需的时间在数秒之内。对于如下的语句

```
SELECT customer.name,food.name,orders.quantity FROM orders,customer,food WHERE customer.id=orders.customer_id AND food.id=orders.food_id AND orders.date='2017/11/11';
```

也能在数秒之内出解。

我的运行环境是 macOS Mojave 10.14.2，直接 make 然后运行 main 就能执行了。如果要从文件输入，可以用./main < file 命令。