PostgreSQL 上的 Similarity Join 实现

实验报告

16307130194 陈中钰

16307130215 刘晓黎

16 级 计算机科学技术学院

Contents

1 分工

- CREATE FUNCTION 实现：陈中钰；
- 修改内核实现：刘晓黎；
- 算法实现：一起讨论算法原理和优化，各自独立实现；
- 实验报告：一起写；

2 基本状况

2.1PostgreSQL

- 一款基于 POSTGRES 的关系对象数据库管理系统；
- 支持 SQL 标准的大部分，并提供了许多现代化的特色，比如复杂查询、外键、触发器等；
- 用户可以自主拓展功能，比如添加数据类型、函数、运算符等，而在这次实验中通过自主添加函数来实现 Similarity Join。

2.2Similarity Join

也就是相似性连接。在通过诸如电话、地址等没有固定格式的属性，来连接两个表时，绝对的相等“ = ”是不能满足连接需求的，这时候需要允许实现连接的两个字符串存在一定的差异，那么就需要通过计算相似性来进行限制。计算相似性有以下两种方法：

- Levenshtein Distance：最小编辑距离；
- Jaccard Index：基于 bigram 为单元计算的 Jaccard 系数。

2.3实现方式

一开始用的是 CREATE FUNCTION 的方式，虽然实现方式简单，但是这种方式的结果普遍较慢，后采用内核修改的方式实现。

- CREATE FUNCTION：遵循手册里的要求，书写 C 语言函数，并动态导入到数据库中；
- 内核修改：阅读源码，在源码上进行修改。

2.4准备

- 安装：

```
./configure
make
```

（在 w14_postgresql-10.4 文件夹的根目录处运行）

```
su
make install
adduser postgres
mkdir /usr/local/pgsql/data
chown postgres /usr/local/pgsql/data
su - postgres
/usr/local/pgsql/bin/initdb -D /usr/local/pgsql/data
/usr/local/pgsql/bin/postgres -D /usr/local/pgsql/data >logfile 2>&1 &
```

- 重装：在实际操作当中，由于操作不当会使数据库产生异常，需要重装数据库。首先要清除 make 的结果，再删除 data 文件夹，再从 make 开始重复上述安装的步骤（不需要 configure）。

make clean
rm -rf /usr/local/pgsql/data
（如果执行失败，可以运行 sudo rm -rf /usr/local/pgsql/data）
make
……

- 导入数据：

/usr/local/pgsql/bin/psql –f
/home/zhongyuchen/Desktop/psql/w14_pj2_similarity_data.sql

- 进入 PostgreSQL：

/usr/local/pgsql/bin/psql

- 开启计时功能：

\timing
（在 PostgreSQL 中开启）

- 退出 PostgreSQL：

Ctrl+z 或者\q

3 算法原理及优化

3.1jaccard_index

一开始，我们的想法很简单粗暴，为了去除字符串中重复的基本单元（由两个连续字符组成），只需要每次都将它与之前产生的所有字符串比较即可，比较两个字符串同理。这种实现方式的复杂度为 O（n^2+m^2+m*n），显然非常不合理，因此很快被我们弃掉。

经过讨论，我们得到了一种 O（m+n）的算法。以下为实现原理。

1. 将两个字符的 ASCII 码值映射到一个数组（设为 flag），此映射为双射，（若映射到二维数组，则分别映射到其中一维，若映射到一维数组，则映射到两个 ASCII 码值拼接到一起的值）则该数组能够唯一每一个基本单元的出现情况。

2. 对 A 串处理，若已出现则跳过，反之令该位置的 flag 置 1，总数加 1，并记录该位置。

```
tmp=((tmp%128)<<7)|toupper(s1[i]);
if(!flag[tmp])
{
    flag[tmp]=1;
    change[cnt++]=tmp;
}
```

3. 对 B 串处理，若只在 A 串出现过（flag==1），则相同的数量加一；若未出现过，总数

加 1，则记录该位置。最后将该位置的 flag 置为 2，保证当 flag==1 时，其只在 A 串出现过。（当 flag==2 时，说明已在 B 串出现过，不能重复统计）

```
tmp=((tmp%128)<<7)|toupper(s2[i]);
if(!flag[tmp]) change[cnt++]=tmp;
else if(flag[tmp]==1) same++;
flag[tmp]=2;
```

以上就是该算法的实现原理，其中记录出现过的基本单元的目的是为了清 0.

3.2levenshtein_distance

此函数的实现原理为动态规划，复杂度 O（m*n）。下面是具体原理。

1. 未优化版

可以证明，对于任意一种从 A 串经过三种操作更改为 B 串的操作序列（要求这一操作序列没有冗余，即每一步都是必须的，不可去掉），它们之间的先后顺序没有影响。因此我们可以假设，从 A 串到 B 串的任意一种操作序列都是从左向右的。这样的话要想将 A[1--i]改变为 B[0--j]，其最后一步只有三种情况：

- 替换
  这说明 A[1–i-1]已转换为 B[1–j-1]，但 A[i]!=B[j]，则操作数此基础上加 1。
- 增加
  这说明 A[1–i]已转换为 B[1–j-1]，需要增加 B[j]，则操作数此基础上加 1。
- 删除
  这说明 A[1–i-1]已转换为 B[1–j]，需要删除 A[i]，则操作数此基础上加 1。

为了求最少的操作数，在三者中取最小值即可。（可以证明，如果 A[i]==B[j]，则将 A[1–i]转换为 B[1–j]的最少操作数等于将 A[1–i-1]转换为 B[1–j-1]的操作数）

```
mini=distance[i][j-1]<distance[i-1][j]?distance[i][j-1]:distance[i-1][j];
mini=mini<distance[i-1][j-1]?mini:distance[i-1][j-1];
distance[i][j]=mini+1;
```

2. 去掉相同前缀及后缀

这是一种比较简单的优化原理，实现方式也较为简单。

3. 利用上一次的编辑距离矩阵

这种动态规划的算法的瓶颈在于每次都需要计算一个 m*n 的矩阵，有没有可能少计算一些东西呢？由于我们对两张表的连接需要做大量的编辑距离连接运算，也就是每个元祖对都要产生一个编辑矩阵，如果我们记住让一次的编辑矩阵，那么在计算下一个编辑矩阵时，我们就可以不用重复计算由相同前缀构成的编辑矩阵。这就是这一优化的产生思路。

具体的实现方式也极为简单，为了计算大矩阵，只需要更改边界条件，转为计算 3 个小矩阵即可。

实际上，如果说在做连接运算时，字符串是有序的，那么在进行连接时，相同的前缀长度将以递增方式出现，这将极大地减少该算法的运行时间。

4. 错误的优化

在这两种优化产生之前，我产生过一种奇怪的想法，那就是 A 和 B 串相同位置的字符如果相同，我就去掉它。这一想法的正确性从表面看起来没什么问题，（但也不一定对）因此我也试着尝试了一下，最后发现结果出现了误差。

经过思考，这种思路最终被我们证明为是错误的。原因是即使相同位置字符相同，也不一定将它们匹配，可能通过“错位”使得操作数更少。一个反例如下：cdaba->aba。很

明显最少的操作数为 2，但如果去掉相同位置的“a”，则操作数变为 3.

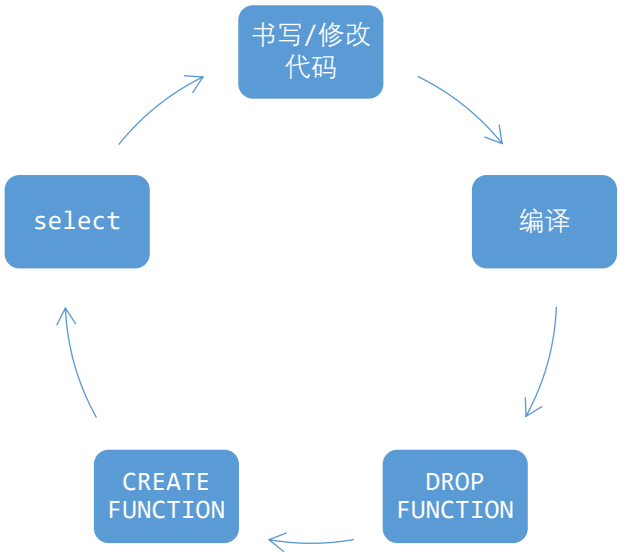
3.3额外的函数 levenshtein_distance_2

实际上，对于本次的查询语句，有一个重要信息，也就是编辑距离的限制（<d）没有被我们用到。通过查阅资料，我们最终找到了一个能够大幅度降低复杂度的算法（复杂度为 O(min(n,m)*d)。这一算法来自 Ukkonen 算法及其改进，它并不需要完整地算出 levenshtein_distance 动态规划算法中的整个编辑矩阵。。其原理来自 http://www.berghel.net/publications/asm/asm.pdf 以及 http://www.cs.helsinki.fi/u/ukkonen/InfCont85.pdf 两个网站。

由于该函数的实现并不满足这次 pj 的要求，加上时间限制，因此没能完整地看懂这一算法的实现原理，但从结果来看，它的正确性和高效性都得到了很好的保证。

4 CREATE FUNCTION 实现

4.1实现流程



4.2书写/修改代码

通过 CREATE FUNCTION 来实现函数的定义，只需要把函数写到一个文件中就可以了。而在这次实验中，把函数写到了 similarity_join.c 文件中。书写代码的时候，要注意的是和 C 语言中不一样的部分，故只展示这些内容。

- 头文件

为了使用 PostgreSQL 的一些独特的内容，如 psql 的数据类型，则需要添加这两个头文件。所以这两个头文件是必须添加的。

```
#include "postgres.h"
#include "fmgr.h"
```

- magic lock

为了保证动态加载的 object file 不会被加载到一个不相容的服务器中，PostgreSQL 会检查 magic lock 的宏定义。如果有该宏定义存在，可以使服务器能够检查出明显的不相容性。

```
#ifdef PG_MODULE_MAGIC
PG_MODULE_MAGIC;
#endif
```

- 函数声明

psql 有自己的函数声明方式，而且还必须要进行函数声明

```
PG_FUNCTION_INFO_V1(levenshtein_distance);
```

- 数据类型对应关系（部分）

在函数定义中，在引用函数参数、函数返回值时，不能直接使用 C 语言中的类型，而是要使用对应的 SQL Type。对应查找手册中的表格即可。

SQL Type	C Type	Defined In
cid	CommandId	postgres.h
date	DateADT	utils/date.h
smallint (int2)	int16	postgres.h
int2vector	int2vector*	postgres.h
integer (int4)	int32	postgres.h
real (float4)	float4*	postgres.h
double precision (float8)	float8*	postgres.h
interval	Interval*	datetime/timestamp.h

- 函数定义

psql 中的函数定义不需要写出函数返回值类型，只需统一用 Datum。而函数参数用 PG_FUNCTINO_ARGS 表示，其中含有函数的全部参数。

```
Datum levenshtein_distance(PG_FUNCTION_ARGS)
{
```

在取调用的参数时，要用 PG_GETARG 来获取，还需要加上对应的数据类型和指示第几个参数的数字。如下图，TEXT 指示了参数的类型。在这次实验中，函数调用的参数都是字符串，而根据手册中的对应关系，对应到 psql 中为 text 类型。而 0 表示这是第 0 个参数。

```
//get arguments
text *src = PG_GETARG_TEXT_PP(0);
text *dst = PG_GETARG_TEXT_PP(1);
```

而对于 text 的数据类型，还可以通过函数获得 text 字符串的长度、指向 text 字符串的 char *指针。注意定义该指向数据库中的数据的指针时，必须要加上 const 的定义，来防止在操作过程当中不小心篡改了数据库中的数据。

```
    //define pointers
    s_data = VARDATA_ANY(src);
    t_data = VARDATA_ANY(dst);

    //length of each string(bytes)
    s_bytes = VARSIZE_ANY_EXHDR(src);
    t_bytes = VARSIZE_ANY_EXHDR(dst);
```

在返回时，也要根据返回值的具体类型来返回。在返回的是普通的 int 类型，再通过查手册，发现对应的类型是 INT32，再使用 INT32 类型来返回。

```
    //return levenshtein distance
    PG_RETURN_INT32(distance[t_bytes][s_bytes]);
}
```

- 动态空间申请与释放

在 psql 中申请同台空间需要用 palloc 函数，而释放空间则需要用 pfree。它们的用法和 C 语言中对应的 malloc 和 free 的用法是一样的。

- 对应的算法已经在上文进行了叙述，再这里就不再重复了。

4.3编译

```
cc -I /home/zhongyuchen/Desktop/psql/postgresql-10.4/src/include
-fPIC -c similarity_join.c

cc -shared -o similarity_join.so similarity_join.o
```

- 编译过程：书写的程序是在.c 文件中，那么首先要由.c 文件生成对应的共享库.so 文件，再.so 文件由生成对应的.o 文件；
- 编译需要在.c 文件所在的文件夹进行；
- 查找手册，发现在 Linux 上的编译采用的是 cc；
- .c 文件 -> .so 文件

查找手册可得生成 PIC 的 compiler flag 是 –fPIC。但如果按照手册中的格式直接运行，会报错，因为编译器并不知道 include 的 postgres 库的对应文件在哪里。那么就要加入-I 的标志，并在后面加入 psql 的 include 文件夹的路径，然后就能生成对应的.so 文件了。

- .so 文件 -> .o 文件

生成共享库的 compiler flag 是 shared，直接运行就能生成对应的.o 文件。

4.4DROP FUNCTION

- 如果是修改过了代码，那么要重新导入函数。而在重新导入函数前，需要把原来导入数据库的函数卸掉，则需要用 DROP FUNCTION 指令（在 psql 中运行）。

```
postgres=# DROP FUNCTION levenshtein_distance(text, text);
DROP FUNCTION
Time: 5.130 ms
```

- 经过测试，在重新编译过.c 文件后、在 CREATE FUNCTION 之前，为了保证导入的是新的函数，不仅要 DROP FUNCTION，还必须要退出 psql，再重新进入 psql。否则导入的函数还依然会是原先的函数。

4.5CREATE FUNCTION

```
postgres=# CREATE FUNCTION jaccard_index(text, text) RETURNS double precision
postgres-# AS '/home/zhongyuchen/Desktop/psql/postgresql-10.4/src/tutorial/simil
arity_join',
postgres-#    'jaccard_index'
postgres-# LANGUAGE C STRICT;
CREATE FUNCTION
Time: 4.952 ms
```

以下是 CREATE FUNCTION 的格式：

- CREATE FUNCTION 篮框中的是在 psql 中使用该函数时要输入的名字；
- RETURN 红框中的是返回值的 SQL Type，可以通过查表获得；
- AS 绿框中的是含有函数的.c 文件的路径，而黄框中的是.c 文件中函数的名字。
- LANGUAGE C STRICT 指定了函数是 strict 的，也就是系统会自动判断，在调用参数为 null 时，返回 null 值，而不需要在代码中显式地进行判断。否则要用 PG_ARGISNULL()来判断调用参数是否为 null，并对应返回 null 值。

4.6测试

- 在正式测试之前，需要打开计时功能，之后每执行一条一条 sql 指令都会输出对应的运行时间；

```
postgres=# \timing
Timing is on.
```

- 正式测试：直接输入对应的 sql 语句运行，会输出语句的运行结果。

```
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
postgres-# jaccard_index(ra.name, rp.name) > 0.65;
 count
-------
  2347
(1 row)

Time: 5032.245 ms (00:05.032)
```

4.7调试

- 调试主要通过肉眼调试。通过观察代码、观察输出实例，来找到错误。比如可以输出 where levenshtein_distance(ra.name, rp.name) = 1 的例子的对应名字的数据，通过分析异常结果来找到代码的错误；
- 在已有正确正确程序的情况下，还可以通过输出 where levenshtein_distance_true(ra.name, rp.name) = 1 & levenshtein_distance_false(ra.name, rp.name) != 1 的结果，来快速找到 levenshtein_distance_false 函数的错误例子，并对其进行分析，进而找到代码的错误。

4.8运行结果

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
postgres-# levenshtein_distance(rp.phone, ap.phone) < 4;
 count
-------
  3252
(1 row)

Time: 21645.972 ms (00:21.646)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
postgres-# levenshtein_distance(ra.name, rp.name) < 3;
 count
-------
  2130
(1 row)

Time: 56122.739 ms (00:56.123)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
postgres-# levenshtein_distance(ra.address, ap.address) < 4;
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 88004.095 ms (01:28.004)
```

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
postgres-# jaccard_index(rp.phone, ap.phone) > 0.6;
 count
-------
  1647
(1 row)

Time: 3121.642 ms (00:03.122)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
postgres-# jaccard_index(ra.name, rp.name) > 0.65;
 count
-------
  2347
(1 row)

Time: 5032.245 ms (00:05.032)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
postgres-# jaccard_index(ra.address, ap.address) > 0.8;
 count
-------
  2120
(1 row)

Time: 6250.428 ms (00:06.250)
```

4.9Levenshtein Distance 优化

以下统一用 levenshtein_distance(ra.address, ap.address) < 4 的例子进行计时。

1. 空间生成

- 最开始的时候，数组都是用 palloc 来动态生成的，但是和 malloc 类似，动态生成空间耗时很大；
- 于是改成用 C 语言定义数组的方式来定义普通数组，并进而在前面加上 static 的标识；
- 那么，在每次调用函数时都会保留这同一块空间，能节省掉重复申请空间和释放空间的时间；
- 只是针对 select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where levenshtein_distance(ra.address, ap.address) < 4;运行的耗时，就能从平均约 2:20 缩减到平均约 1:30，减少了近 1 分钟，优化的效果很好；

2. 二维数组改为一维数组

```
if(tolower(s_data[i - 1]) == tolower(t_data[i - 1]))
    distance[i*s_bytes+j] = distance[(i - 1)*s_bytes+j - 1];
else
{
    //get the smallest
    if(distance[(i - 1)*s_bytes+j] <= distance[i*s_bytes+j - 1])
        small = distance[(i - 1)*s_bytes+j];
```

- 函数中使用的数组是二维的，尝试把数组改成相同大小的一维数组，并在使用时访问一维数组对应的位置，查看是否有时间上的优化；
- 结果并没有很大的差异（不再截图了）。

3. 消除两个字符串在两端相同的部分

- 两个字符串把左端两端相同的部分都去掉，可以大大减少递推矩阵递推的大小；
- 但是结果仍然没有很大的差异（不再截图了）。

4. 利用上一次的编辑距离矩阵

- 由于编辑距离矩阵是 static 的，里面的数据可以保留到下一次函数调用中，那么可以利用上一次的数据，来减少重复的运算；
- 结果能在平均 1:30 的基础上缩减到平均 1:15，效果还是很好的。

```
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
levenshtein_distance_1(ra.address, ap.address) < 4;
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 76160.822 ms (01:16.161)
```

5. 把编辑距离限制作为参数加入到函数中

- 当把编辑距离限制作为参数加入到函数中后，尽管不符合项目的要求，但是的确能有很好的结果；
- 结果能从 1:30 的基础上缩减到平均 0:04，效果很好。
- 注意，在 CREATE FUNCTION 时，调用参数 4 的 SQL Type 是 integer，而返回值 SQL Type 是 boolean。

```
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
levenshtein_distance_2(ra.address, ap.address, 4);
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 4638.799 ms (00:04.639)
```

4.10 Jaccard Index 优化

1. 空间优化

- 由于在测试 levenshtein distance 时，不用 palloc 来生成空间，而是用 static int 来生成数组，会有很好的结果，因此在写 jaccard index 函数时，就直接用了 static int 的数组定义方式；
- 但是有一个缺点是，由于每次用数组之前到需要使数组为 0，那么，在使用该数组前，需要对 static 数组清空，否则该空间会保留着之前的数据（求 levenshtein distance 的矩阵是直接覆盖的，因此不需要对矩阵进行清 0）；
- 通过遍历整个二维数组的方式来进行清 0；
- 结果约为 5:40 左右。

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
jaccard_index_1(rp.phone, ap.phone) > 0.6;
 count
-------
  1647
(1 row)

Time: 338881.228 ms (05:38.881)
```

2. 优化的清 0 方式

- 如果对数组进行遍历清 0，那么相当于复杂度从 O(m + n)，上升为 O(n * n)级别，使得耗时很长；
- 而且实际上，数组需要清 0 的地方并不多；
- 于是用一个数组来记录非 0 的点，并在计算出 jaccard index 之后，只对记录数组中记录的点进行清 0，使得复杂度回到 O(m + n)；
- 使得时间从平均 5:40 下降到 0:02，效果十分的好。

```
Timing is on.
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
jaccard_index(rp.phone, ap.phone) > 0.6;
 count
-------
  1647
(1 row)

Time: 2639.514 ms (00:02.640)
```

4.11 CREATION FUNCTION 的优劣

- 优点：在有 C 语言的基础下，简单容易操作，修改过函数之后重新导入函数快；
- 缺点：整体耗时长，而且对于一些优化并没有明显的作用。

为了寻求更好、更快的运行结果，于是接下来，尝试通过修改内核来实现 Similarity Join。

5 修改内核实现

5.1系统与源码理解

实际上，想要完成本次 pj，并不需要对源码有深刻的理解。但在使用 gdb 调试程序的过程中，为了稍微理解每个函数在做什么，我还是查阅了相关资料，知道了一些关于查询语句在源码中的执行方式。以下结合资料谈谈我的查询语句运行机制的理解：

1. 在 postgresql 的后台服务进程 postgres 接受到查询语句后，进入 PostgresMain 函数中的 exec_simple_query 函数；

2. exec_simple_query 调用 pg_parse_query 函数，pg_parse_query 再调用 raw_parser 函数进行词法和语法分析，产生分析树；

3. exec_simple_query 调用 pg_analyze_and_rewrire 函数。pg_analyze_and_rewrire 函数函数调用 parse_analyze 进行语义分析生成 Query 结构体（查询树），再将该结构体传递给 pg_rewrite_query 进行查询重写（根据转换规则将原始的查询转换为新的查询树）；

4. 查询重写完成以后，进入 pg_plan_queries 函数进行查询规划。pg_plan_queries 进入 pg_plan_query 函数，pg_plan_query 函数进入 planner 函数，它负责查询计划的生成；

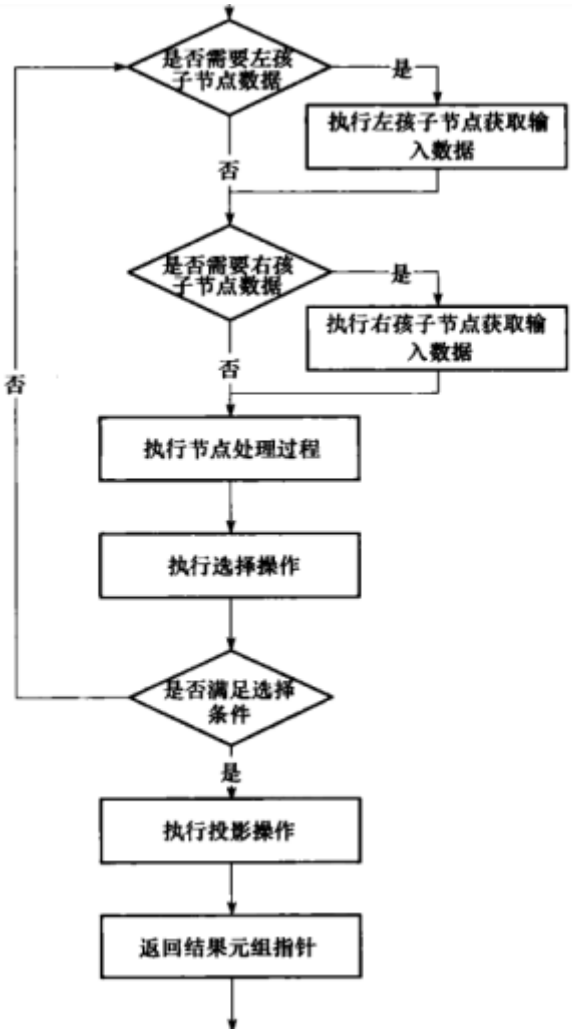
5. planner 函数调用 standard_planner 函数，standard_planner 函数通过调用 subquery_planner 和 set_plan_references 分别完成计划树的生成、优化、清理；

6. 在查询语句转变为执行计划之后，exec_simple_query 函数调用 PortalRun 函数进行计划执行；

7. PortalRun 函数根据 select 查询类型进入 PortalRunSelect 函数;

8. 在初始化查询计划树（调用 ExectorStart 函数后），PortalRunSelect 函数调用 ExecutorRun 函数，ExecutorRun 函数调用 standard_ExecutorRun 函数，standard_ExecutorRun 又调用 ExecutePlan 进行计划执行；

9. ExecutePlan 函数是一个循环，它通过 ExecProcNode 函数从计划节点中获取一个元组，然后对该元组进行相应的处理。ExecProcNode 的执行过程如下图所示：



10. 当所有元组都被获得以后，进行一些清理工作，整个查询语句就结束了。

5.2设计思路与实现方案（改源码方式）

在未修改任何源码之前，我尝试运行了这 6 条查询语句，发现 postgresql 所报错误为未找到该函数，也就是说，我的主要任务就是将这两个函数添加到源码中，并让 postgresql 能够识别它即可。接下来的思路分为以下阶段：

（一）、gdb 调试阶段

一开始我的想法是找到 postgresql 第一次调用该函数的位置，通过它间接知道应该在哪个源文件中添加函数。主要的过程如下：

1.在 make 时添加—enable-debug 参数

2.删除 O2 优化

这一点至关重要，否则几乎无法调试。由于没有找到合适的命令行参数，我直接将 makefile.golbal 文件中的 CFLAGS 变量中的-O2 改为了-O0。

3.设置断点调试

通过不断的设置断点，我最终找到了 postgresql 报错的源头。这是因为它在调用 func_get_detail（）函数时返回了 FUNCDETAIL_NOTFOUND。到这一步后我的思路就进

行不下去了，仔细想想，好像无论我怎么深入，它报错的源头应该都只是在源代码中没有出现相应的参数（或许是函数的 id），我不可能通过这一点就找到在哪添加函数。

虽然这一阶段以失败告终了，但我因此熟悉了大量 gdb 调试的方法，也对后面的 debug 有一定的帮助。

注意：在将 O2 优化去掉（改为 O0）后，如果只是重新执行 make 是无效的，必须首先执行一次 make clean 操作，再执行 make，否则不会有任何变化。

（二）、奇思妙想阶段

在阅读 postgresql 的文档时，我发现它在第 9 章描述了许多内置函数，包括数学函数、字符串函数等等。我突然想到，只要我模仿其中一个函数的源码实现，不就能够实现我想要的函数吗？这一阶段的主要过程如下：

1. 测试内置函数是否能够用于查询语句

我用其中的几个函数尝试运行了几条查询语句，发现都能成功，这让我更加坚定了自己的想法。

2. 选定参照函数

由于我们需要实现的是对字符串处理的函数，因此我选定了 btrim 函数作为参照对象。其功能为从字符串的开头和结尾删除指定字符。

3. 运用 sublime 寻找该函数出现的位置

通过查询功能，我知道 btrim 出现在以下源文件中：

- postgresql-10.4\src\backend\catalog\postgres.bki
- postgresql-10.4\src\backend\parser\gram.c
- postgresql-10.4\src\backend\parser\gram.y
- postgresql-10.4\src\backend\utils\adt\oracle_compat.c
- postgresql-10.4\src\backend\utils\fmgroids.h
- postgresql-10.4\src\backend\utils\fmgrprotos.h
- postgresql-10.4\src\backend\utils\fmgrtab.c
- postgresql-10.4\src\bin\psql\describe.c
- postgresql-10.4\src\include\catalog\pg_proc.h

其中 gram.c、gram.y、describe.c 文件很明显跟函数的实现无关，因此我只需对剩下 6 个源文件更改即可。（实际上，通过后面的工作，我知道其实我并不需要更改 postgres.bki，它是在编译的过程中自己创建的）

4. 修改细节（以 jaccard_index 为例）

- fmgrprotos.h

  此源文件只是对函数的全局函数外部使用的声明，添加语句（extern Datum jaccard_index(PG_FUNCTION_ARGS);）即可。

- fmgroids.h

  此源文件是对内置函数设置 oid，通过模仿，添加语句（#define F_JACCARD_INDEX 9997）即可.

- fmgrtab.c

  此源文件是内置函数的管理表，通过模仿，添加语句（{ 9997, "jaccard_index", 2, true, false, jaccard_index },）即可。（其中的数字 2 的含义是我通过比较其它内置函数知道它表示该函数参数个数的）

- pg_proc.h

  此源文件供 catalog/genbki.pl 读取，并被转换为 postgres.bki，

是注册函数的核心所在。通过分析 btrim 的记录（DATA(insert OID = 884 (btrim PGNSP PGUID 12 1 0 0 0 f f f f t f i s 2 0 25 "25 25" _null_ _null_ _null_ _null_ _null_ btrim _null_ _null_ _null_));），并将它与其它记录对比，可以知道其中的 2 表示参数个数，第一个 25 表示返回参数的类型，而冒号中的两个数字则表示两个参数的类型。同时可以得知 25 表示字符串、700 表示单精度浮点数、23 表示 32 位整数、16 表示布尔类型。

综上所述，我在此插入了记录（DATA(insert OID = 9997 (jaccard_index PGNSP PGUID 12 1 0 0 0 f f f f t f i s 2 0 700 "25 25" _null_ _null_ _null_ _null_ _null_ jaccard_index _null_ _null_ _null_));
DESCR("jaccard_index");）

- oracle_compat.c

  这是 btrim 函数真正定义的地方。为了实现相关功能需要添加一些头文件（upper 函数需要<ctype.h>，abs 函数需要<math.h>），具体函数的实现这里就不再展开。

（三）.实验结果展示

相比于 create_function 的方式，此方法极大的提高了运行速度。具体结果如下：

1. jaccad_index

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
jaccard_index(rp.phone, ap.phone) > 0.6;
 count
-------
  1653
(1 row)

Time: 1173.628 ms (00:01.174)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
jaccard_index(ra.name, rp.name) > 0.65;
 count
-------
  2398
(1 row)

Time: 1630.331 ms (00:01.630)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
jaccard_index(ra.address, ap.address) > 0.8;
 count
-------
  2186
(1 row)

Time: 2579.909 ms (00:02.580)
```

2. levenshtein_distance

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
levenshtein_distance(rp.phone, ap.phone) < 4;
 count
-------
  3252
(1 row)

Time: 5690.545 ms (00:05.691)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
levenshtein_distance(ra.name, rp.name) < 3;
 count
-------
  2130
(1 row)

Time: 9766.231 ms (00:09.766)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
levenshtein_distance(ra.address, ap.address) < 4;
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 23452.751 ms (00:23.453)
```

（未优化）

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
levenshtein_distance(rp.phone, ap.phone) < 4;
 count
-------
  3252
(1 row)

Time: 3632.958 ms (00:03.633)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
levenshtein_distance(ra.name, rp.name) < 3;
 count
-------
  2130
(1 row)

Time: 6759.642 ms (00:06.760)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
levenshtein_distance(ra.address, ap.address) < 4;
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 16897.613 ms (00:16.898)
```

（去掉相同前缀及后缀）

- 这种优化效果在此实现方式下效果较好，提升了 30%-40%的速度。源码中保留此版本。

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
levenshtein_distance(rp.phone, ap.phone) < 4;
 count
-------
  3252
(1 row)

Time: 3712.416 ms (00:03.712)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
levenshtein_distance(ra.name, rp.name) < 3;
 count
-------
  2130
(1 row)

Time: 7001.653 ms (00:07.002)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
levenshtein_distance(ra.address, ap.address) < 4;
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 22289.164 ms (00:22.289)
```

（利用上一次的编辑距离矩阵）

- 这种优化方式在此实现方式下效果也还可以，但稍稍逊色于上一种（即去掉相同的前后缀）的方法。如果字符串的排列是有序的话，相信它表现得应该更好，因为这样的话几乎每一次都能充分的利用上一次的编辑距离矩阵（由于相同的前缀长度递增）。

3. levenshtein_distance_2

```
postgres=# select count(*) from restaurantphone rp, addressphone ap where
levenshtein_distance_2(rp.phone, ap.phone, 4);
 count
-------
  3252
(1 row)

Time: 1660.044 ms (00:01.660)
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, restaurantphone rp where
levenshtein_distance_2(ra.name, rp.name, 3);
 count
-------
  2130
(1 row)

Time: 745.752 ms
postgres=# select count(*) from restaurantaddress ra, addressphone ap where
levenshtein_distance_2(ra.address, ap.address, 4);
 count
-------
  2592
(1 row)

Time: 2186.907 ms (00:02.187)
```

- 这种利用给出的编辑距离限制的方法表现卓越。

6 实验感想

- 接触到数据库的实际实现，并学会安装、使用数据库，把实际所学应用到实际当中；
- 学会实现额外的数据库功能；
- 学习到有关的 Similarity Join 的各种实现方式；
- 深入了解到各种 Levenshtein Distance、Jaccard Index 的计算算法，并学会对算法进行分析和优化；
- 在日后可以尝试通过修改内核，来实现下半学期重点讲的各类查询优化，不仅能进一步深入学习查询优化各类算法，并且能够应用到实际当中去。