计算机应用编程实验报告

计算机应用编程实验 2：树结构字符串检索

2020110656 高垚 2020111562 杨恩

一 实验目标与意义

随着网络技术的普及，互联网的信息逐渐庞大，如何在海量且冗余的信息中找到用户所需的结果是互联网每天都要应对的难题。信息的基数与增长速度，用户查找内容的多样性，查询结果的实时动态变化都使精确搜索成为互联网面临的挑战。

本实验的目的是设计一套能够在庞大的词库中寻找特定目标的算法。需要通过四种树形结构算法，在给定的具有 127 万多个词语的 dict.txt 词典中，查找有 1.7 万个词的 string.txt 文本中匹配的词。

二 系统设计与实现

根据实验目标要求，综合考虑时间复杂度和空间复杂度，在实验中，利用 m 阶 B+树，原始 256 叉树，m 节点分支数和 2 叉压缩树，四种结构体，完成对 dict.txt 文件中 127 万个字符串的建立，并通过各自的算法，搜索在 string.txt 文件中查找一样的字符，并写入 result.txt 文件中。

2.1 M 阶 B+树

M 阶 B+树算法是一种数据库系统中广泛使用的索引结构，它具有查询速度快，效率高，查询性能高，所有叶子节点形成有序链表，适合范围查询等优势。

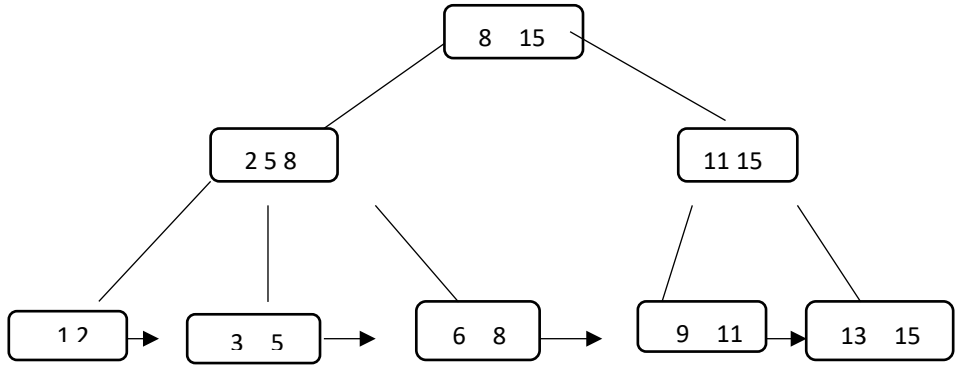


图 1 B+树

2.1.1 实验思路

本节概括了实验的流程。

- 为了在海量词库中，精确查找我们所需要的词。我们需要进行以下几个操作。

1. 设置合适的参数 m，m 决定了 B+树的结构。（本实验设定 m 为 64）
2. 初始化一棵 B+树，把根的多个值赋值为 0。
3. 开始进行插入操作，每读取 dict 一个关键词，计算 Hash 值，给 B+树插入一个节点。
4. 读取完 dict 文本中的每一行关键词时，为叶子节点添加指针。

5. 读取 string 文本中的每一行关键词，并计算 Hash 值，然后查找。
6. 如果成功查找到，则写入 result 文本中。
其中涉及到的函数有：

```
/*本实验中用到的函数*/
void bplus_init_tree();//初始化一个 B+树。
int bplus_insert_recoder(char *str);// 插入一个节点。
FileHandler* open_file(char* file_name, char* open_type) //创建指向文本的指针和内存缓冲区。
void bplus_destroy_tree(); //删除一个 B+树。
int bplus_query_recoder(char *str) //查询节点。
int write_line(FileHandler* file_handler, char* str)//把内存中的值写入创建的文本中。
int close_file(FileHandler* file_handler)//关闭文件，释放空间。
```

2.1.2 B+树的建立

利用 Hash 算法查找的核心是建立合理的 Hash 列表。 Hash 列表中的每一个节点包含了，内部的关键词和指向下一个节点的指针。在创建新的 Hash 列表时，首先要给节点设置空值。然后再根据给定的内容，计算其 Hash 值，赋值到 Hash 节点中，然后返回新的节点。其中包含了两种情况，一种是不发生冲突时，节点可以直接设置在原先处；若发生了冲突，节点需要找到这个位置的下一个节点，然后再进行赋值操作。其数据结构设计如下：

```
/* 构造 B+树的结构 */
typedef struct BPlusTreeNode
{
    int isRoot, isLeaf;
    int key_num;
    int key[MAX_CHILD_NUMBER];
    struct BPlusTreeNode *child[MAX_CHILD_NUMBER];
    struct BPlusTreeNode *father;
    struct BPlusTreeNode *next;
    struct BPlusTreeNode *last;
} BPlusTreeNode;
/* 初始化一个 B+树的根 */
void bplus_init_tree()
{
    BPlusTree_Destroy();
    Root = New_BPlusTreeNode();
    Root->isRoot = true;
    Root->isLeaf = true;
    TotalNodes = 0;
}
/*创建一个 B+树节点 */
BPlusTreeNode *New_BPlusTreeNode()
{
```

```
    struct BPlusTreeNode *p = (struct
BPlusTreeNode*)malloc(sizeof(struct BPlusTreeNode));
    return p;
};
```

2.1.3 B+树节点的插入

B+树的插入操作极其复杂，因为它包含了判断树是否平衡，对树的结构做分类，重新构造树的结构，判断值与根的大小。这些要求导致插入函数复杂，因此我们设计了多个不同功能的函数，一起完成节点的插入步骤。其数据结构如下。

```
/* 插入节点操作 */
int bplus_insert_recoder(char *str)
{
    return BPlusTree_Insert(get_hash(str), str);
}
/* 根据 Hash 值，插入*/
int BPlusTree_Insert(int key, void *value)
{
    return true;
}
/*插入函数*/
void Insert(BPlusTreeNode *Cur, int key, void *value){}
/*如有必要，重新修改 B+树的构造*/
void Split(BPlusTreeNode *Cur){}
/*计算 Hash 值，并插入节点*/
BPlusTreeNode *Find(int key){
return Cur;
}
```

2.1.4 B+树节点的查询

B+树的查询操作，需要通过读取 string 文本中每一行的词，然后计算其 Hash 值，和当前节点的值进行比较，然后根据比较的结果进入下一个子节点。其数据结构如下。

```
/* 插入节点操作 */
int bplus_query_recoder(char *str)
{
    return 1;//查找成功
    return 0;//查找失败
}
/*计算 Hash 值，并寻找节点*/
BPlusTreeNode *Find(int key){
    return Cur;
}
```

2.1.5 B+树节点的删除

B+树的删除操作，是把根节点释放，整棵树占用的空间就释放了。

```
/* 删除节点操作 */
void bplus_destroy_tree()
{
    //BPlusTree_Destroy();
    printf("destroy b\n");
}
void Destroy(BPlusTreeNode *Cur)
{
    free(Cur);
}
void BPlusTree_Destroy()
{
    if (Root == NULL)
        return;
    Destroy(Root);
    Root = NULL;
}
```

2.1.6 文件的操作

本实验涉及到了三个文件，其中两个为输入文件 dict.txt 和 string.txt，和一个输出文件 result.txt。dict.txt 文件是包含了 127 万个词的文件，而 string.txt 包含了 1.7 万个词。result.tx 文件中所包含的词包含了输入两个文件的交集。

本实验中，利用的文件操作涉及到了指针。其数据结构设计如下：

```
/* 文件指针的建立 */
typedef struct FileHandler {
    FILE* file;//
    char file_name[99];
    int open_status;
    int point;
    unsigned int buffer_size;
    char* buffer;
}FileHandler;
/*创建文件 */
FileHandler*  open_file(char* file_name, char* open_type) {
return file_handler;
};
```

(1) 文件的读取

本实验利用缓存区读取文件。首先通过全局变量为缓存区设定大小。当缓存区内部填充满时，再进行读取。这样读取的次数就大大减少了。文件读取的数据结构如下：

```
/* 文件的读取 */
int read_line(FileHandler* file_handler, char** str) {
return 1; //读取成功
```

```
}
```

(2) 文件的写入

本实验中利用的写入操作有一个特点，即直接通过对缓存区进行写入，当缓存区内部填充满时，再进行写入，直到完全把结果输出到文本中。文件写入的数据结构如下：

```
/* 文件的写入 */
int write_line(FileHandler* file_handler, char* str) {
    char target[20];//we have 6306 numbers
    static int num = 1;//numbers will change
    char* t = target;
    sprintf(target,"%d",num);
return 0; //写入成功
};
```

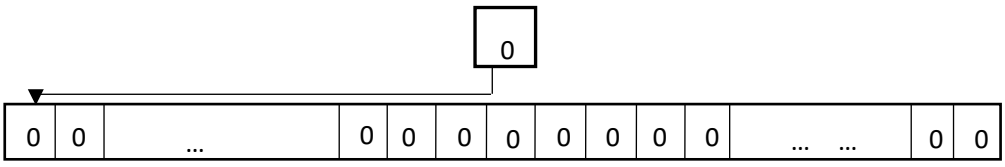
2. 2 原始 256 叉树

原始 256 叉树，又称单词字典树。根节点不存储任何字符，但是其他节点同时包含一个关键字符与指向其子节点的指针。

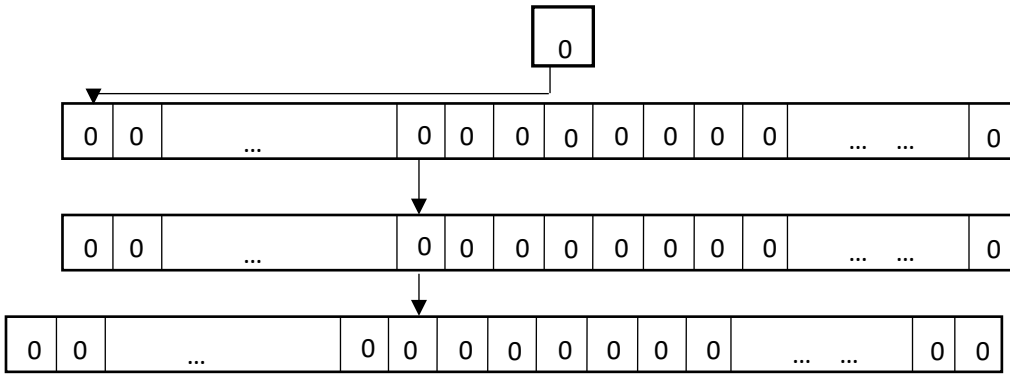
每次添加节点时，都需要从根节点遍历，直到当前指针指向的节点不存在对应的关键字时，添加子节点，并把对应的关键字赋给该节点，同时为该节点新建其子节点。当关键字已经添加完毕，需要标记该关键字的最后一个字符，表示该关键词的结束点。

同理，每次检索，都从树的根节点开始。当关键字的指针前进一位时，节点就要移动到其对应的子节点。若不存在对应的子节点，则查找失败，跳过，进入到下一个关键词。若查找到了最后一位关键词，仍然需要判断对应的子节点是否有被标记，否则也是查找失败。例如，原始 256 叉树中的关键词是 abd，而我们要查找的是 ab 关键词，如果 b 没有被标记，那么我们认为查找失败。查找成功后，需把该关键词写入 result.txt 文件中。

1、创建带有 256 个子节点的根，根的值置为 0，并且其指针指向第一个孩子



2、当传入关键词的第一个字符 str[0]，则指向第 str[0]个子节点。然后再读取第二个字符 str[1]，指针指向第 str[1]个子节点。



3、当关键词全部传入完成，则把最后一个节点的 count++，标记为最后一个节点。

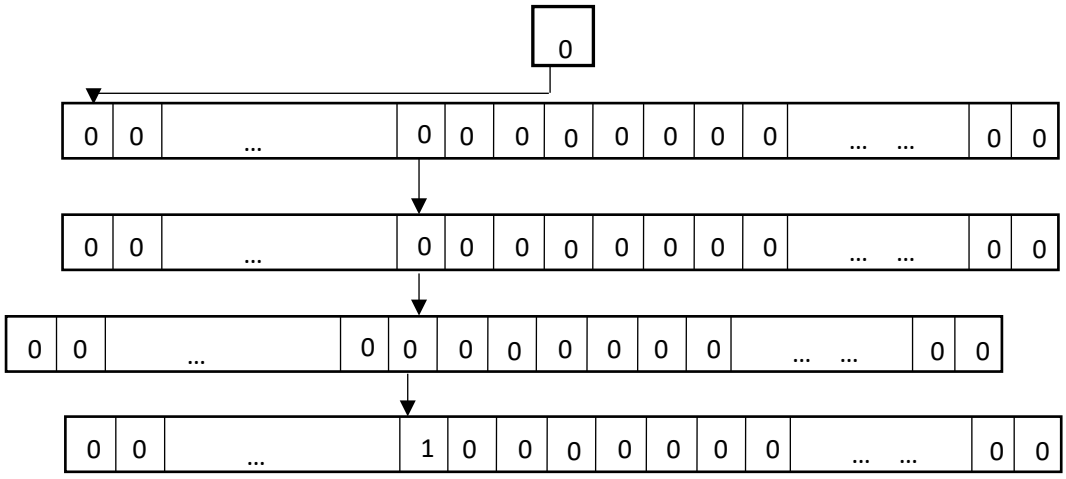


图 2　原始 256 叉树的操作

2.2.1 实验思路

为了在海量词库中，精确查找我们所需要的词。我们需要进行以下几个操作。

1. 初始化一棵原始 256 叉树，把根的多个值赋值为 0。
2. 开始进行插入操作，每读取 dict 一个关键词，给原始 256 叉树插入一个节点。
3. 读取完 dict 文本中的每一行关键词时，为叶子节点添加指针。
4. 读取 string 文本中的每一行关键词，然后查找。
5. 如果成功查找到，则写入 result 文本中。

其中涉及到的函数有：

```
/*本实验中用到的函数*/
void rawtrie_init_tree();//初始化一个原始 256 叉树。
int rawtrie_insert_recoder(char *str);// 插入一个节点。
FileHandler* open_file(char* file_name, char* open_type) //创建指向文本的指针和内存缓冲区。
void rawtrie_destroy_tree(); //删除一个原始 256 叉树。
int rawtrie_query_recoder(char *str) //查询节点。
int write_line(FileHandler* file_handler, char* str)//把内存中的值写入创建的文本中。
int close_file(FileHandler* file_handler)//关闭文件，释放空间。
```

2.2.2 原始 256 叉树的初始化

创建一个原始的 256 叉树需要先构造它的结构体，除了根节点，其他每个节点都包含有关键字和子节点。其数据结构如下。

```
/* 原始 256 叉树的建立*/
typedef struct TrieNode {
    struct TrieNode *child [256];
    int count;  //判断是否为关键词的最后一个字符
    char value;//该节点的字符
} TrieNode;
/* 建立根*/
```

```
 TrieNode* rawtrie_init_tree(){
    return  node;
 }
/* 建立节点*/
 TrieNode* rawtrie_new_tree(){
    return node;
 }
```

2.2.3 原始 256 叉树的操作

根据实验要求，需要根据 dict.txt 文件中的 127 万个字符生成原始 256 叉树，并利用 string.txt 文件查询其中的字符串。所以对原始 256 叉树的结构包含遍历树的节点，添加新的节点，以及查询和删除。其数据结构如下。

```
 /* 插入 */
int rawtrie_insert_recoder(char *str){
    return 1；//如果插入成功则返回 1
    return 0；//如果插入失败则返回 0
}
/* 查询 */
int rawtrie_query_recoder(char *str){
    return 1；//如果查询成功则返回 1
    return 0；//如果查询失败则返回 0

}
/* 删除 */
void rawtrie_destroy_tree(){
}
```

2.3 Mtrie 查找树

Mtrie 查找树是对原始 256 叉树的优化，因为从中文角度来说，分支下的节点数不平衡，每个分支下的节点数差距可以很大。而 Mtrie 查找树是根据关键码每个二进制位的编码来划分，是对整个关键码大小范围的划分。每个内部结点都代表一个位的比较，必然产生两个子结点，所以它是一个满二叉树，进行一次检索，最多只需要关键码位数次的比较即可。

2.3.1 实验思路

本节概括了实验的流程。
- 为了在海量词库中，精确查找我们所需要的词。我们需要进行以下几个操作。
1. 设置合适的参数 M，M 决定了 mtrie 树的结构。（本实验设定 M 为 8）
2. 初始化一棵 mtrie 树，把根的 M 个子节点赋为空。
3. 开始进行插入操作，每读取 dict 一个关键词，给 mtrie 树插入一个节点。
4. 读取完 dict 文本中的每一行关键词时，为节点插入标签，记为完成。
5. 读取 string 文本中的每一行关键词，查找。
6. 如果成功查找到，则写入 result 文本中。

其中涉及到的函数有：

```
/*本实验中用到的函数*/
void mtrie_init_tree();//初始化一个 Mtrie 树。
int mtrie_insert_recoder(char *str);// 插入一个节点。
FileHandler* open_file(char* file_name, char* open_type) //创建指向文本的指针和内存缓冲区。
void mtrie_destroy_tree(); //删除一个 Mtrie 树。
int mtrie_query_recoder(char *str) //查询节点。
int write_line(FileHandler* file_handler, char* str)//把内存中的值写入创建的文本中。
int close_file(FileHandler* file_handler)//关闭文件，释放空间。
```

2.3.2 Mtrie 查找树的初始化

创建一个原始的 M 叉查找树需要先构造它的结构体，除了根节点，其他每个节点都包含有关键字和子节点。其数据结构如下。

```
 /* 原始 256 叉树的建立*/
 typedef struct m_tree_node {
     struct m_tree_node *child(1<<M);
     char is_end;//判断是否为最后一个节点
 }MTNode;
 /* 原始 256 叉树的建立*/
 typedef struct ex_str{
     struct ex_str *next;
     char *str;//该节点的字符
}EXStr;
/* 建立根*/
 void  mtrie_init_tree(){
     root = create_new_node();
 }
/* 建立节点*/
 MTNode *create_new_node(){
    return node;
 }
```

2.3.3 Mtrie 查找树的操作

根据实验要求，需要根据 dict.txt 文件中的 127 万个字符生成原始 256 叉树，并利用 string.txt 文件查询其中的字符串。所以对原始 256 叉树的结构包含遍历树的节点，添加新的节点，以及查询和删除。其数据结构如下。

```
 /* 插入 */
int mtrie_insert_recoder(char *str){
    return 1; //如果插入成功则返回 1
    return 0; //如果插入失败则返回 0
}
/* 查询 */
int mtrie_query_recoder(char *str){
```

```
    return 1；//如果查询成功则返回 1
    return 0；//如果查询失败则返回 0

}
/* 删除 */
void mtrie_destroy_tree(){
}
```

2.4 Radix 查找树

Radix 树是基于二进制构建的一个二叉树，在每个节点中都存储有在进行下一次比特测试之前需要跳过的比特数目，以此来避免单路分支。

2.4.1 实验思路

本节概括了实验的流程。

- 为了在海量词库中，精确查找我们所需要的词。我们需要进行以下几个操作。

1. 首先通过 dict 文本中的第一行和第二行，分别插入第一个和第二个二进制串。
2. 得到他们的公共前缀并把它们的公共前缀独立为新节点，并重置两个结点的内容。
3. 按照节点的最前面的 k 个比特内容，作为节点的序号。
4. 插入第三个节点，并且得到公共前缀。
5. 将公共前缀独立为单独的节点，同样将其插入到新节点对应的位置即可。
6. 读取 string 文本中的每一行关键词，然后查找
7. 如果成功查找到，则写入 result 文本中。

其中涉及到的函数有：

```
/*本实验中用到的函数*/
void radix_init_tree();//初始化一个 Radix 树。
int radix_insert_recoder(char *str);// 插入一个节点。
FileHandler* open_file(char* file_name, char* open_type) //创建指向文本的指针和内存缓冲区。
void radix_destroy_tree(); //删除一个 Radix 树。
int radix_query_recoder(char *str) //查询节点。
int write_line(FileHandler* file_handler, char* str)//把内存中的值写入创建的文本中。
int close_file(FileHandler* file_handler)//关闭文件，释放空间。
```

2.4.2 Radix 查找树的构建

```
 /* 新建 Radix 树 */
typedef struct radix_node
{
    char *str;                  //节点内的二进制序列
    unsigned short len;         //节点内的二进制序列有效长度
    unsigned char is_end;       //以此节点为结尾的字符串是否出现过
    struct radix_node *child;   //节点的子节点
    struct radix_node *brother; //节点的兄弟节点
} Radix_Node;
```

```
/* 创建节点 */
Radix_Node *create_radix_node(char *str){
    return node;
}
void radix_init_tree(){
}
```

2.4.3 Radix 查找树的操作

```
 /* 插入 */
int radix_insert_recoder(char *str){
    return 1；//如果插入成功则返回 1
    return 0；//如果插入失败则返回 0
}
/* 查询 */
int radix_query_recoder(char *str){
    return 1；//如果查询成功则返回 1
    return 0；//如果查询失败则返回 0

}
/* 删除 */
void radix_destroy_tree(){
}
```

三 实验分工

按照上述的系统设计，实验分工如下：
高垚实现了 M 叉树查找，B+树查找和 Radix 树的查找。
杨恩实现了原始 256 叉树查找的程序。

四 实验结果与分析

4.1 B+树查找树

经过实验，程序共爬取了 1270574 行字符，总时间为 1.054047s，运行内存峰值 31M。最终得到 6306 行字符，程序运行结果如下图 3。

```
runtime: 1.054047s string_match:6306
```

图 3　1.1 实验的输出

4.2 原始 256 叉树

经过实验，程序共爬取了 1270574 行字符，总时间为 7.181202s。内存峰值为 4324M，程序运行结果如下图 4。

```
runtime: 7.181202s string_match:6306
```

图 4　1.2 实验的输出

4.3 M 叉树查找树

经过实验，程序共爬取了 1270574 行字符，总时间为 1.260061s。内存峰值为 754M，程序运行结果如下图 5。

```
runtime: 1.260061s string_match:6306
```

图 5　1.3 实验的输出

4.4 Radix 树

经过实验，程序共爬取了 1270574 行字符，总时间为 1.186937s。内存峰值为 157M，程序运行结果如下图 6。

```
runtime: 1.186937s string_match:6306
```

图 6　1.4 实验的输出

五 实验问题

5.1 B+树查找树

（1）Hash 值 K 发生冲突

解决方法：在叶子节点之间创建链表，利用指针形式，遍历链表中的关键字（或数据）。

（2）报错提醒 conflicting types for “”

解决方法：头文件（.h）中与.c 程序中的函数的声明不一致，需要改用成一致的声明。

5.2 原始 256 叉树

（1）每个节点存在无限个子节点

解决方法：本算法通过创建一个带有指针的字符，使得该有指针的字符能把每个关键字都安排在 0～255 的列表中。但是因为编译器默认 char 类型字符是有正负，因此把它转为整形字符串时，不是我们原以为的 0～255，而是-127～128，因此需要把 char 类型改成 unsigned char 类型的字符。

5.3 M 叉树查找树

（1）新的 str 太短，而当前节点还没有达到叶子节点

解决方法：为每一个节点添加标记，如果当前节点被标记，则表示当前节点及其祖先节点共同保存的数据出现过。

5.4 Radix 树

（1）在进行插入操作时，输入的新 str 太长时，而当前节点已经遍历完成

解决方法：分为两种情况，一种是当前节点存在子节点，则在子节点中遍历；另一种是当前节点不存在子节点，则创建新的子节点，把 str 剩余的位存储在新的子节点中。

六 实验结论

综上所述，实验程序能够对海量数据进行筛选和搜索，并能在较快时间和满足需求的存储空间内完成计算。实验可以通过对数据文本的遍历，建立多种树形数据结构，达到查询的目的，顺利完成实验目标，符合实验预期结果。