# 浙江工业大学

## 数据结构课程设计报告


学　号　201806061108

姓　名　胡皓睿

班　级　计实 1801

完成日期　2019.12.16

# 目录

1 实验题目与要求.....2
2 设计思路.....3
2.1 系统总体设计.....3
2.2 系统功能设计.....4
2.2.1 用户登陆验证功能.....4
2.2.2 添加用户功能.....4
2.2.3 显示用户功能.....4
2.2.4 删除用户功能.....4
2.2.5 修改密码功能.....4
2.3 类的设计.....5
2.3.1 AvlTree 类.....5
2.3.2 Node 类.....11
2.3.3 ShadowTreeNode 类.....11
2.4 主程序的设计.....11
3 调试分析.....12
3.1 技术难点分析.....12
3.2 调试错误分析.....12
4 测试结果分析.....13
4.1 登陆.....13
4.2 管理员界面.....13
4.2.1 正向打印树.....14
4.2.2 添加用户.....14
4.2.3 删除用户.....15
4.3 一般用户.....15
4.3.1 修改密码.....15
5 附录.....16
5.1 main.cpp.....16
5.2 AvlTree.h.....21
5.3 AvlTree.cpp.....22
5.4 Node.h.....28
5.5 Node.cpp.....29
5.6 ShadowTreeNode.h.....30

# 1 实验题目与要求

**【问题描述】**在登录服务器系统时，都需要验证用户名和密码，如 telnet 远程登录服务器。用户输入用户名和密码后，服务器程序会首先验证用户信息的合法性。由于用户信息的验证频率很高，系统有必要有效地组织这些用户信息，从而快速查找和验证用户。另外，系统也会经常会添加新用户、删除老用户和更新用户密码等操作，因此，系统必须采用动态结构，在添加、删除或更新后，依然能保证验证过程的快速。请采用相应的数据结构模拟用户登录系统，其功能要求包括用户登录、用户密码更新、用户添加和用户删除等。

**【基本要求】**

1. 要求自己编程实现二叉树结构及其相关功能，以存储用户信息，**不允许使用标准模板类的二叉树结构和函数**。同时要求根据二叉树的变化情况，进行相应的平衡操作，即 AVL 平衡树操作，**四种平衡操作都必须考虑**。测试时，各种情况都需要测试，并附上测试截图；
2. 要求采用类的设计思路，不允许出现类以外的函数定义，但允许友元函数。主函数中只能出现类的成员函数的调用，不允许出现对其它函数的调用。
3. 要求采用多文件方式：.h 文件存储类的声明，.cpp 文件存储类的实现，主函数 main 存储在另外一个单独的 cpp 文件中。如果采用类模板，则类的声明和实现都放在.h 文件中。
4. 不强制要求采用类模板，也不要求采用可视化窗口；要求源程序中有相应注释；
5. 要求测试例子要比较详尽，各种极限情况也要考虑到，测试的输出信息要详细易懂，表明各个功能的执行正确；

**【实现提示】**

1. 用户信息(即用户名和密码)可以存储在文件中，当程序启动时，从文件中读取所有的用户信息，并建立合适的查找二叉树；
2. 验证过程时，需要根据登录的用户名，检索整个二叉树，找到匹配的用户名，进行验证；更新用户密码时，也需要检索二叉树，找到匹配项后进行更新，

同时更新文件中存储的用户密码。

3. 添加用户时，不仅需要在文件中添加，也需要在二叉树中添加相应的节点；删除用户时，也是如此；

**【运行结果要求】**要求能够实现用户登录验证、添加用户、删除用户和更新用户密码功能，实验报告要求有详细的功能测试截图。

**验收要求：1、通过管理员权限，正向打印用户信息的平衡二叉查找树；**

**2、管理员在删除、插入用户信息后，需重新旋转调整 AVL 树，并正向打印；**

**3、用户只能看到自己的信息，只能更改密码。**

**【考核要求】**要求程序能正常运行，全面完成题目要求。

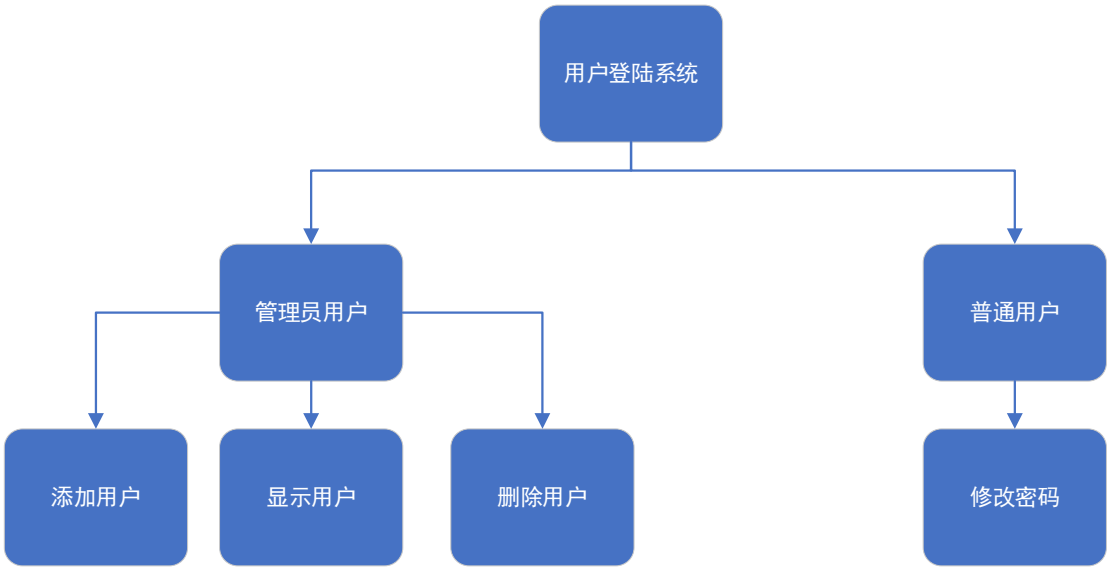
**【题目难度】 难，成绩等级高**

# 2 设计思路

## 2.1 系统总体设计

系统需要实现“用户登陆系统”的功能，由于线性表的时间复杂度为 O(n)，效率较低，不足以满足大容量高并发的需求，所以使用二叉搜索树的结构进行数据存储。由于二叉存储树可能存在不平衡的问题，影响数据结构的效率，所以我们使用 Avl 树进行存储。

## 2.2 系统功能设计




### 2.2.1 用户登陆验证功能

用户输入用户名和密码，系统会在数据库中查找该用户。如果用户不存在或者密码错误，发出相应的提示，否则根据用户所属的类型（管理员/普通用户），完成登陆

### 2.2.2 添加用户功能

管理员用户有权限添加用户，输入要添加的用户名和密码，如果在数据库中存在同名用户，提示添加失败，否则将用户信息存放到数据库里

### 2.2.3 显示用户功能

管理员用户有权限显示用户，使用打印命令，可以正向打印出 Avl 树中存储的用户信息。

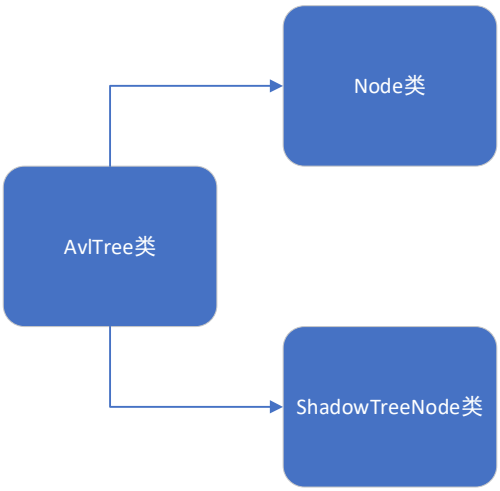
### 2.2.4 删除用户功能

管理员用户有权限删除用户，输入要删除的用户名称，如果数据库中存在该用户，就将其删除，否则提示错误。

### 2.2.5 修改密码功能

普通用户可以更改自己的密码

## 2.3 类的设计




### 2.3.1 AvlTree 类

AvlTree 类定义了一棵 Avl 树，包含了 Node 节点和 ShadowTreeNode 节点，包含了用影子树正向打印树，旋转节点，添加节点等功能。

#### 2.3.1.1 save 函数

```
void AvlTree::save(Node *tree) {
    if (tree == nullptr) {//如果根节点是空指针，说明这棵子树已经完成了遍历，即可退出
        return;
    }
    fstream out;
    if (tree == root) {//如果该节点是根节点，说明文件输出刚刚开始，则清除原有文件，否则在文件尾追加
        out.open( _Filename: "database.dat", ios::out);
    } else {
        out.open( _Filename: "database.dat", _Mode: ios::out | ios::app);
    }
    out << tree->getName() << " " << tree->getPassword() << endl;
    out.close();
    save(tree->left);//递归遍历左子树
    save(tree->right);//递归遍历右子树
}
```

在 save 函数中，我们使用了 fstream 对象来进行文件的输出，使用了中序遍历的方法，先保存中间节点的内容，然后递归保存左右子树。使用中序遍历而非其他遍历的好处是，在读取文件重新构建树的时候，前序遍历保存的文件可以避免树的旋转。

#### 2.3.1.2 addNode 函数

```
Node *AvlTree::addNode(Node *pNode, string &name, string &password) {
    if (pNode == nullptr) { //找到空的插入点，创建一个新的Node，并返回插入点
        pNode = new Node( &: name, &: password);
        return pNode;
    } else if (name < pNode->getName()) {//要插入左边
        pNode->left = addNode(pNode->left, &: name, &: password);
        if (getHeight(pNode->left) - getHeight(pNode->right) == 2) {//平衡因子为2，发生了不平衡
            if (name < pNode->left->getName()) {//添加的节点在左子树的左子树内，采用右旋操作
                pNode = RightSpin(pNode);
            } else {//添加的节点在左子树的右子树内，采用先左旋再右旋操作
                pNode->left = LeftSpin(pNode->left);
                pNode = RightSpin(pNode);
            }
        }
    } else {
        pNode->right = addNode(pNode->right, &: name, &: password);
        if (getHeight(pNode->right) - getHeight(pNode->left) == 2) {//平衡因子为2，发生了不平衡
            if (name > pNode->right->getName()) {//添加的节点在右子树的右子树内，采用左旋操作
                pNode = LeftSpin(pNode);
            } else {//添加的节点在右子树的左子树内，采用先右旋再左旋操作
                pNode->right = RightSpin(pNode->right);
                pNode = LeftSpin(pNode);
            }
        }
    }
    pNode->setHeight(max(getHeight(pNode->left), getHeight(pNode->right)) + 1);//获取完成插入后新的树的高度
    return pNode;
}
```

在插入新的节点时，我们需要一层一层向下寻找插入点，进行插入。完成插入后，如果树失衡了，要使用 Spin 函数进行调整。

#### 2.3.1.3 remove 函数

```
Node *AvlTree::remove(Node *root, const string &name) {
    if (root == nullptr) return nullptr;//如果节点是空的，说明要删除的东西不存在，返回空指针
    if (name < root->getName()) {//如果节点的内容比查找值大，说明目标节点在左子树，递归进入
        root->left = remove(root->left, name);
        if (getHeight(root->right) - getHeight(root->left) == 2) {//如果平衡因子为2，说明发生了失衡，需要旋转
            Node *right = root->right;//右子树比较深，说明右子树需要进行旋转
            if (getHeight(right->left) > getHeight(right->right)) {//如果右子树的左子树比较深，执行先右旋再左旋
                root->right = RightSpin(root->right);
                root = LeftSpin(root);
            } else {//否则直接左旋
                root = LeftSpin(root);
            }
        }
    } else if (name > root->getName()) {//如果用户名比当前节点要大，说明要删除的节点在右子树，递归进入
        root->right = remove(root->right, name);
        if (getHeight(root->left) - getHeight(root->right) == 2) {//如果平衡因子为2，说明发生了失衡，需要旋转
            Node *left = root->left;//左子树比较深，说明左子树需要进行旋转
            if (getHeight(left->left) < getHeight(left->right)) {//如果左子树的右子树比较深，执行先左旋再右旋
                root->left = LeftSpin(root->left);
                root = RightSpin(root);
            } else {//否则直接右旋
                root = RightSpin(root);
            }
        }
    } else {//既不偏大，也不偏小，显然是找到了删除点
```

```
        if (root->left != nullptr && root->right != nullptr) {//两侧都存在子树
            if (getHeight(root->left) > getHeight(root->right)) {//如果左子树比较深
                Node *toRemove = maxNode(root->left);//删除点的内容会被左子树的最大值替换，所以找到左子树的最大值
                root->setName(toRemove->getName());//将根节点（也就是要删除的节点）的信息替换为左子树的最大节点
                root->setPassword(toRemove->getPassword());
                root->left = remove(root->left, toRemove->getName());//删除左子树最大的节点
            } else {
                Node *toRemove = minNode(root->right);//删除点的内容会被右子树的最小值替换，所以找到右子树的最小值
                root->setName(toRemove->getName());
                root->setPassword(toRemove->getPassword());
                root->right = remove(root->right, toRemove->getName());
            }
        } else {//如果至少有一侧是空的，那就直接把一棵子树提高
            Node *tmp = root;
            if (root->left != nullptr) {//如果左子树存在，就将右节点提高
                root = root->left;
            } else {//否则将左节点提高
                root = root->right;
            }
            delete tmp;//删除根节点
        }
    }
    if (root != nullptr) {
        root->setHeight(max(getHeight(root->left), getHeight(root->right)) + 1);
    }
    return root;
}
```

在执行删除操作的时候，我们也一层一层向下找，找到那个要被删除的节点。然后，视情况，在左子树或右子树找到最大或最小的节点，将其移到根节点的位置，再将原来的节点删除，即实现了删除特定节点的功能。完成删除后，如果树发生了失衡，要调用 Spin 函数进行调整。

#### 2.3.1.4 print 函数

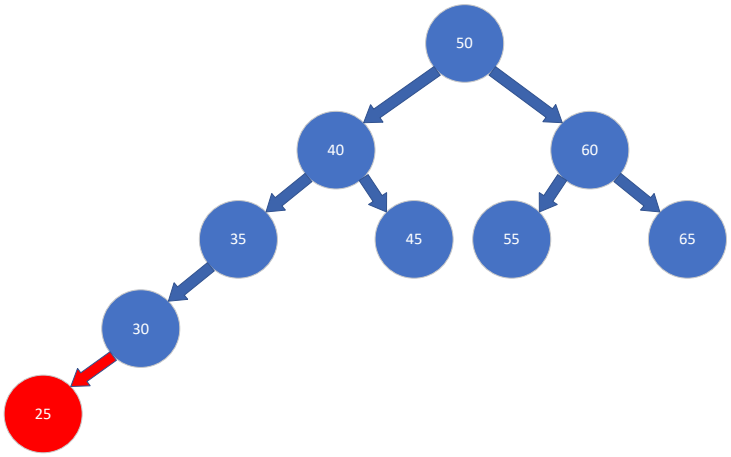
```
void AvlTree::print() {
    if (root == nullptr) return;//如果根节点不存在，显然是不需要打印的，返回
    ShadowTreeNode *ShadowTree = nullptr;
    ShadowTree = ShadowTreeBuild( Tree: root, ShadowTree,  TreeRow: 1);//开始时，应该打印在第一行
    queue<ShadowTreeNode *> queue;//建立一个打印队列
    queue.push(ShadowTree);
    int MaxRow = 1, MaxColumn = 0;
    int MaxLength = 6;//设置内容的最大长度，以对齐树
    while (!queue.empty()) {//如果打印队列非空
        ShadowTreeNode *pShadowTreeNode = queue.front();//取出队列第一项
        queue.pop();
        if (pShadowTreeNode->row > MaxRow) {//如果行数超过了最大行数，说明要开始打印下一行
            cout << endl;//换行
            MaxRow = pShadowTreeNode->row;//重设最大行数
            MaxColumn = 0;
        }
        string tmpName = pShadowTreeNode->name;
        if (tmpName.length() > MaxLength) {//检查名字有没有过长，如果太长，就将其截断，否则在后面补上空格
            tmpName[MaxLength - 1] = '.';
        } else {
            for (int i = tmpName.length(); i < MaxLength; i++)
                tmpName.append( _Ptr: " ");
        }
        for (int i = 1; i < pShadowTreeNode->column - MaxColumn; i++) {//输出前置的空格
            for (int j = 0; j < MaxLength; j++) cout << ' ';
        }
        cout << tmpName.substr( _Off: 0, MaxLength);//打印出内容
        MaxColumn = pShadowTreeNode->column;
        if (pShadowTreeNode->left != nullptr) queue.push(pShadowTreeNode->left);//如果左子树非空，将其加入打印队列
        if (pShadowTreeNode->right != nullptr) queue.push(pShadowTreeNode->right);
    }
    cout << endl;
}
```

Print 函数使用了影子树实现 Avl 树的正向打印。影子树是通过保存树中每一个节点的横纵坐

标信息，来正向打印二叉树的一种数据结构。通过影子树打印，可以获取更好的打印效果。

#### 2.3.1.5 Spin 函数

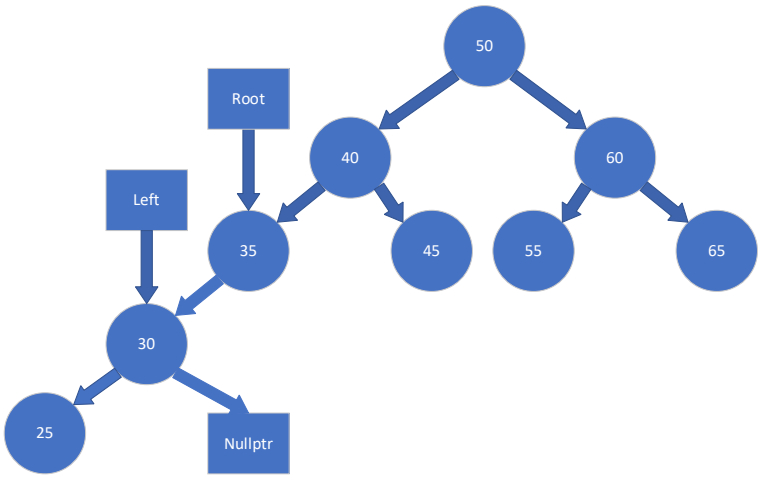
LeftSpin 函数和 RightSpin 函数互成镜像，所以我只介绍右旋。



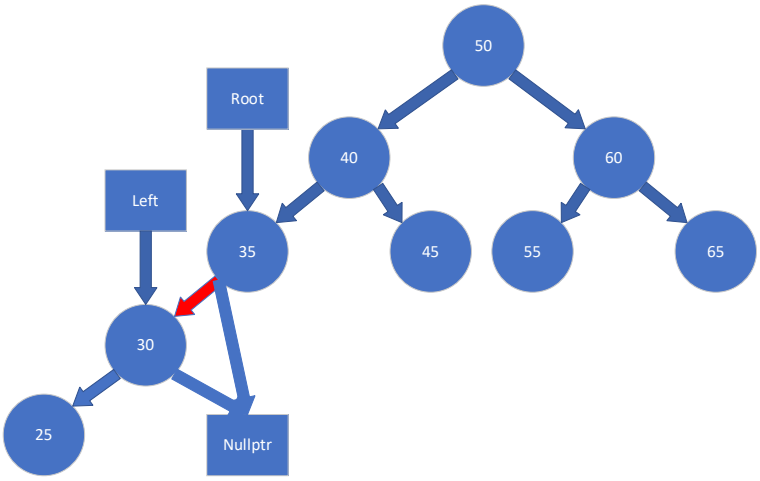

看这棵树，它原本是平衡的。由于节点 25 插入，这棵树变的不平衡。25 被插在 35 节点左子树的左子树上，所以我们只需要进行一次右旋操作。

```
192 Node *AvlTree::RightSpin(Node *root) {
193     Node *left = root->left;
194     root->left = left->right;
195     left->right = root;
196     root->setHeight(max(getHeight(root->left), getHeight(root->right)) + 1); //旋转后，重设树的高度
197     left->setHeight(max(getHeight(left->left), getHeight(left->right)) + 1);
198     return left;
199 }
```

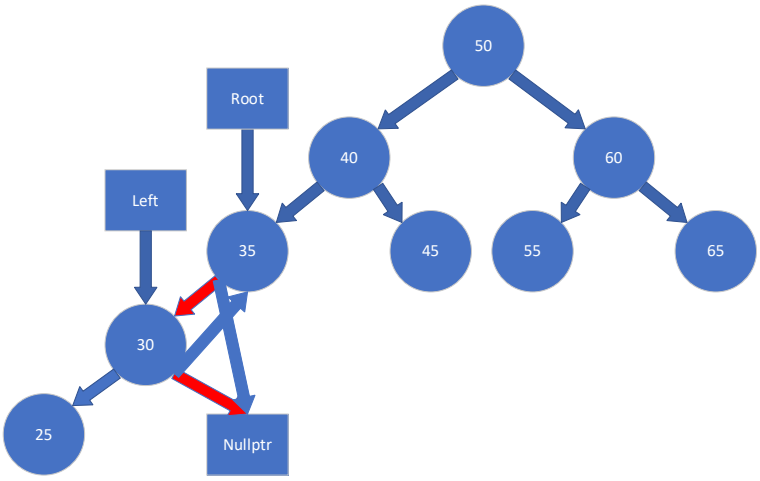
首先，使用 left 指针指向左节点，即 30



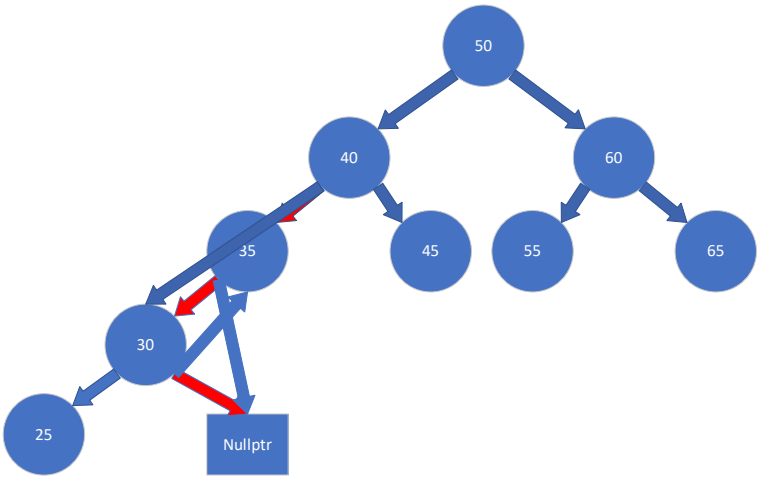

将根节点的左指针指向 30 节点的 right。可以看到，尽管 30 节点对应的右指针是 nullptr，我在这里将其画出，所得结构显得清晰。



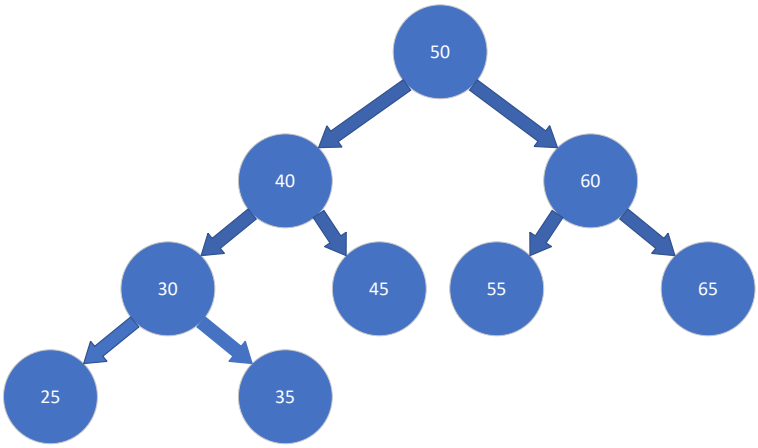

将 left 节点的右指针指向 root



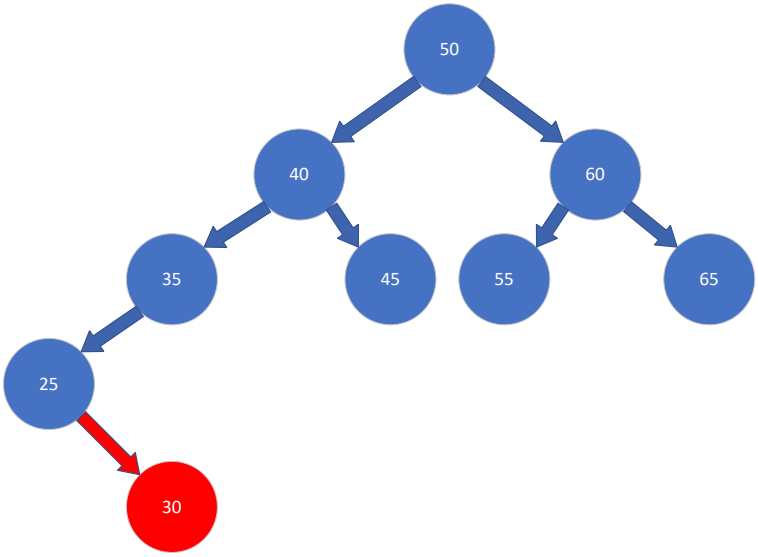

返回左节点的指针，让上层节点对应的指针指向前面提到的 left 节点




整理树的结构，删除已经消失的指针的之前加上的 nullptr

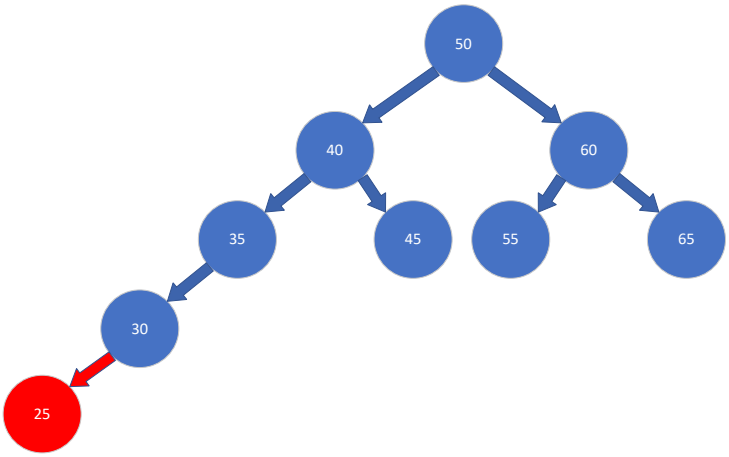



可以看到，我们成功完成了右旋的操作。




看这一棵树，它也是不平衡的，但是它不平衡的原因是在左子树的右子树插入了一个新的节点。对于这种情况，我们要先左旋再右旋。

左旋，指的是对根节点的左子树左旋，经过一次左旋，这棵树就会变成和前面的一样。




然后，对它进行一次右旋操作，即可完成平衡过程。

先右旋再左旋的情况也同理。

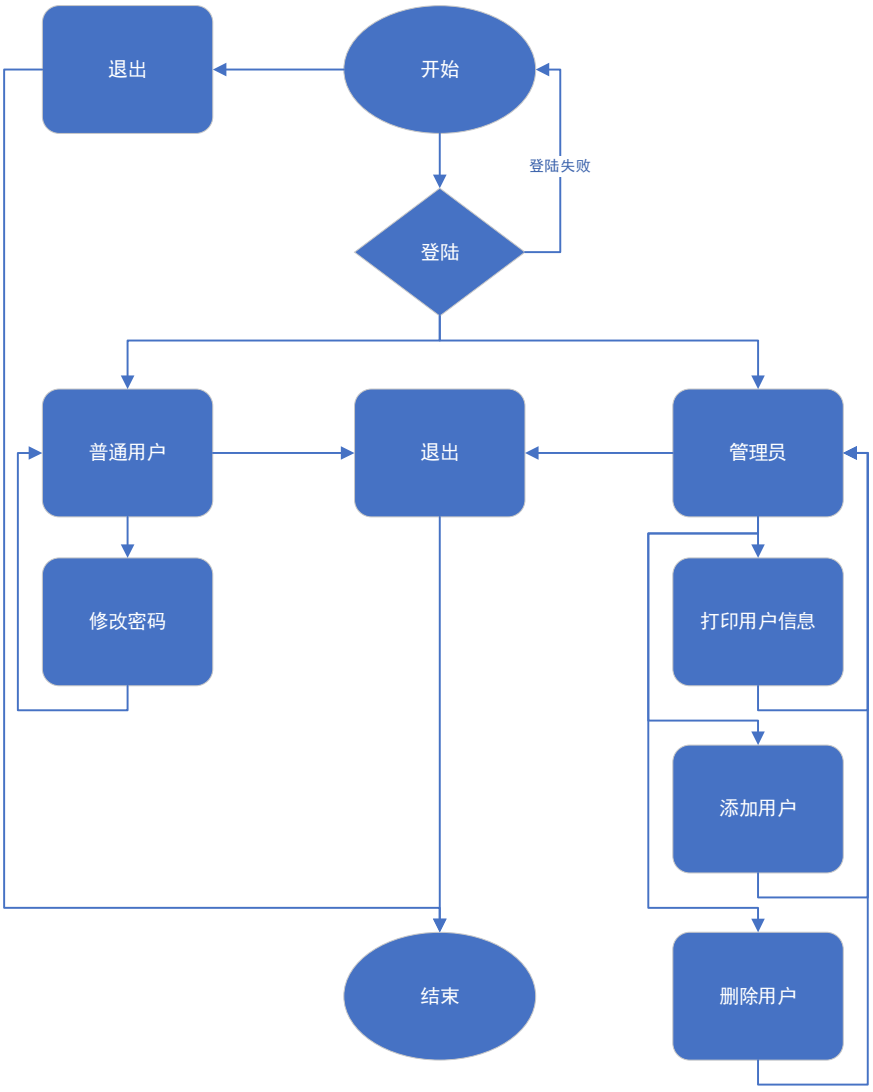
### 2.3.2 Node 类

Node 类定义了 Avl 树的节点，包含了 name，password，height 三个字段，分别存储用户名，密码，以及这个节点所处的高度。基于数据访问控制的要求，这三个字段使用了 private 访问权限，所以各自实现了 set 和 get 方法，进行修改和输出。同时，包含了指向两个子节点的 left 和 right 指针，用于实现数据结构。

### 2.3.3 ShadowTreeNode 类

ShadowTreeNode 类定义了影子树节点，存储了每个节点打印时应当存储的位置，从而实现在正向打印时对其的功能。

## 2.4 主程序的设计



# 3 调试分析

## 3.1 技术难点分析

建立 Avl 树时，要尽量避免树的旋转，减少程序负担。所以，在输出时选择前序遍历或是后续遍历，可以保证重建二叉树时，子节点总是在母节点之后被生成，也就不会发生旋转了。

Avl 树进行打印的时候，如何确定每个结点所处的位置是一个很大的问题，所以，引入了影子树的思想，在打印前，先构建一棵带每个节点横纵坐标的影子树，用于打印。打印时，一层一层进行打印，下一层的内容被放入队列中等待下一次打印。

## 3.2 调试错误分析

1. 在某些情况下，database.dat 的内容不会及时被修改
   SaveFile 函数调用的位置选择不当，导致在某些操作时，文件并没有被及时存储，导致了问题。
   在每次操作后都及时执行 SaveFile 函数，问题得到解决。
2. 由于没有进行内存回收，导致内存泄漏

```
11  void GarbageCollecting(Node *root) {
12      if (root->left){
13          GarbageCollecting(root->left);
14      }
15      if (root->right){
16          GarbageCollecting(root->right);
17      }
18      delete root;
19  }
```

   添加了如下函数，使用递归遍历树，并在退出程序时调用这个函数，实现内存回收。

# 4 测试结果分析

## 4.1 登陆

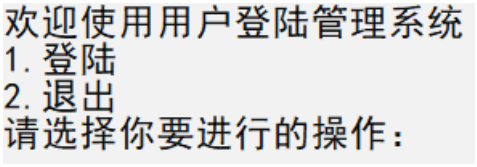



图 4.1.1

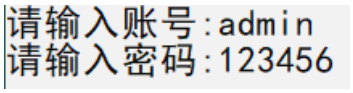



图 4.1.2

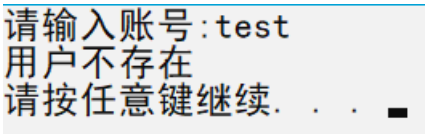



图 4.1.3

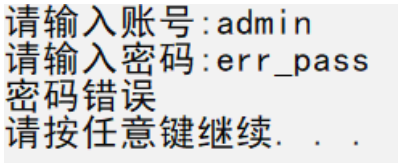



图 4.1.4

在启动程序后，会先显示欢迎界面（图 4.1.1），选择登陆，就会进入账号密码输入界面。如果输入正确的账号和密码，即可完成登陆过程。如果用户不存在或者密码错误，就会显示对应的错误信息（如图 4.1.3，4.1.4）

## 4.2 管理员界面

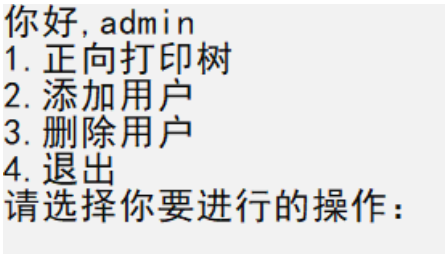



图 4.2.1

如果用户名为“admin”，就会进入管理员界面（图 4.2.1），可以在此界面选择要进行的操作。

### 4.2.1 正向打印树

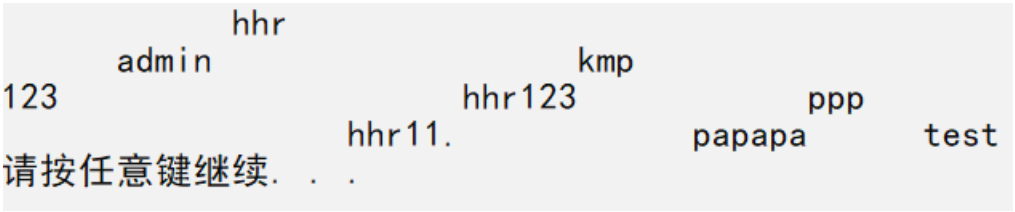



图 4.2.1.1

选择正向打印树功能后，就会调用影子树的代码，在屏幕上生成一棵正向的树（图 4.2.1.1）。为了让树可以对齐，我强制了用户名的最大长度如果超过该长度，就会将后面的内容变为点号，保证了名字字段等长。

### 4.2.2 添加用户

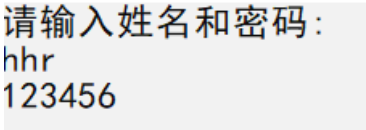



图 4.2.2.1

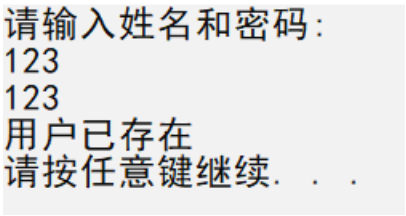



图 4.2.2.2

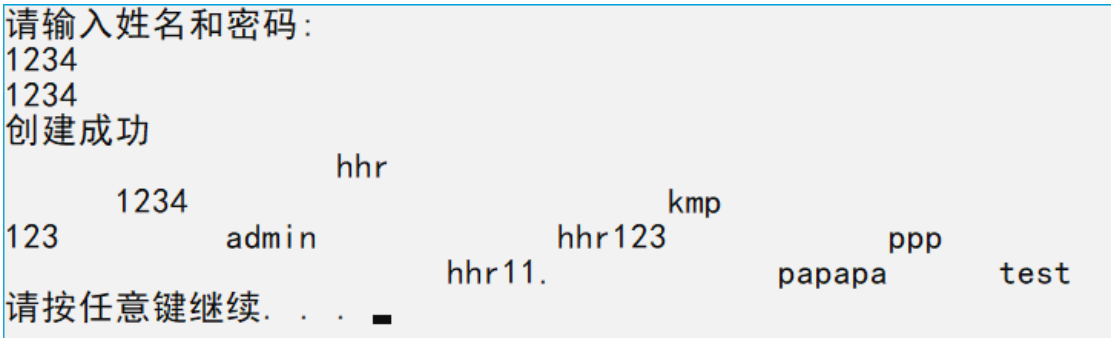



图 4.2.2.3

选择添加用户功能后，会要求你输入用户名及其密码（图 4.2.1.1）。如果已经存在同名用户，会提示你用户已存在（图 4.2.2.2），否则就会将用户插入 Avl 树中，并打印这棵树（图 4.2.2.3）。

### 4.2.3 删除用户

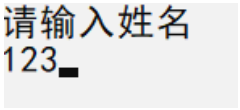



图 4.2.3.1

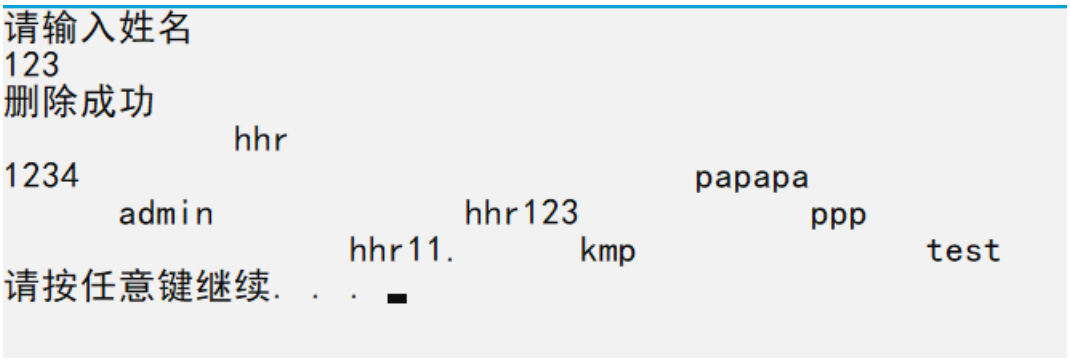



图 4.2.3.2

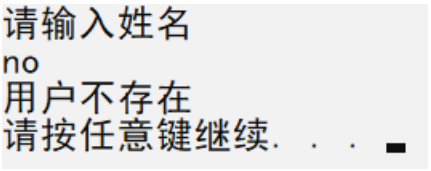



图 4.2.3.3

选择删除用户功能后，系统会提示你输入用户名（图 4.2.3.1），如果用户存在，就会将其删除，并打印出操作后的树（图 4.2.3.2），否则提示该用户不存在（图 4.2.3.3）。

## 4.3 一般用户

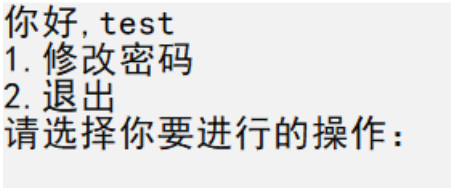



图 4.3.1

如果用户为一般用户，则只允许修改密码（图 4.3.1）。

### 4.3.1 修改密码

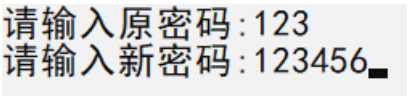



图 4.3.1.1

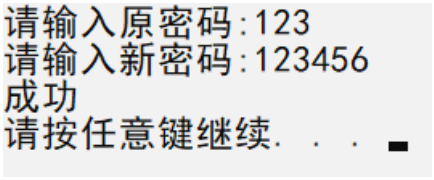



图 4.3.1.2

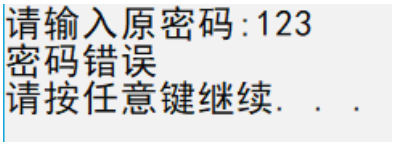



图 4.3.1.3

进入修改密码界面后，系统会提示输入原密码（图 4.3.1.1）。如果原密码错误，就会提示密码错误（图 4.3.1.3），否则要求输入新密码，并完成修改（图 4.3.1.2）。

# 5 附录

## 5.1 main.cpp

```
//
// Created by HHR on 2019/11/27.
//

#include <iostream>
#include <fstream>
#include "AvlTree.h"

using namespace std;

void GarbageCollecting(Node *root) {
    if (root->left) {
        GarbageCollecting(root->left);
    }
    if (root->right) {
        GarbageCollecting(root->right);
    }
    cout << "已释放：" << root->getName() << endl;
    delete root;
}

void readFile(AvlTree *root) {//从文件中读取 Avl 树的信息
    string name, password;
    ifstream infile;
```

```
    infile.open("database.dat", ios::in);
    while (infile >> name >> password) {
        root->addUser(name, password);
    }
    infile.close();
}

void SaveFile(AvlTree *root) {//将 Avl 树保存到文件
    root->save(root->root);
}

void PasswordReset(Node *user) {//修改密码功能
    string password;
    cout << "请输入原密码:";
    cin >> password;
    if (password != user->getPassword()) {
        cout << "密码错误" << endl;
        system("pause");
        return;
    }
    cout << "请输入新密码:";
    cin >> password;
    user->setPassword(password);
    cout << "成功" << endl;
    system("pause");
}

void AddUser(AvlTree *tree) {//添加用户功能
    string name, password;
    cout << "请输入姓名和密码:" << endl;
    cin >> name >> password;
    if (AvlTree::SearchNode(name, tree->root) != nullptr) {
        cout << "用户已存在" << endl;
        return;
    }
    tree->addUser(name, password);
    cout << "创建成功" << endl;
    tree->print();
}

void DeleteUser(AvlTree *tree) {//删除用户功能
    string name;
    cout << "请输入姓名" << endl;
    cin >> name;
```

```
    if (AvlTree::SearchNode(name, tree->root) == nullptr) {
        cout << "用户不存在" << endl;
        return;
    }
    if (name == "admin") {
        cout << "该用户不能被删除" << endl;
        return;
    }
    tree->removeUser(name);
    cout << "删除成功" << endl;
    tree->print();
}

void adminView(AvlTree *tree) {//管理员用户的界面
    while (true) {
        system("cls");
        cout << "你好,admin" << endl;
        cout << "1.正向打印树" << endl;
        cout << "2.添加用户" << endl;
        cout << "3.删除用户" << endl;
        cout << "4.退出" << endl;
        cout << "请选择你要进行的操作：";
        string op;
        cin >> op;
        switch (op[0]) {
            case '1':
                system("cls");
                tree->print();
                system("pause");
                break;
            case '2':
                system("cls");
                AddUser(tree);
                system("pause");
                break;
            case '3':
                system("cls");
                DeleteUser(tree);
                system("pause");
                break;
            case '4':
                break;
            default:
                cout << "错误" << endl;
```

```
        }
        if (op[0] == '4')break;
        SaveFile(tree);
    }
}

void userView(AvlTree *tree, Node *user) {//普通用户的界面
    while (true) {
        system("cls");
        cout << "你好," << user->getName() << endl;
        cout << "1.修改密码" << endl;
        cout << "2.退出" << endl;
        cout << "请选择你要进行的操作：";
        string op;
        cin >> op;
        if (op[0] == '1') {
            system("cls");
            PasswordReset(user);
            SaveFile(tree);
        } else if (op[0] == '2') {
            cout << "再见" << endl;
            break;
        }
    }
}

void loginSuccessful(AvlTree *tree, Node *user) {//登陆成功
后，根据用户类别，跳转到对应的主界面
    if (user->getName() == "admin") {
        adminView(tree);
    } else {
        userView(tree, user);
    }
}

void login(AvlTree *tree) {//登陆界面
    string name, password;
    cout << "请输入账号:";
    cin >> name;
    Node *user = AvlTree::SearchNode(name, tree->root);
    if (user == nullptr) {
        cout << "用户不存在" << endl;
        system("pause");
        return;
```

```
    }
    cout << "请输入密码:";
    cin >> password;
    if (user->getPassword() == password) {
        cout << "登陆成功" << endl;
        loginSuccessful(tree, user);
    } else {
        cout << "密码错误" << endl;
        system("pause");
    }
}


int main() {
    auto *tree = new AvlTree;
    readFile(tree);
    while (true) {
        string op;
        system("cls");
        cout << "欢迎使用用户登陆管理系统" << endl;
        cout << "1.登陆" << endl;
        cout << "2.退出" << endl;
        cout << "请选择你要进行的操作：";
        cin >> op;
        system("cls");
        switch (op[0]) {
            case '1':
                login(tree);
                break;
            case '2':
                cout << "正在进行内存回收，请稍后\n";
                GarbageCollecting(tree->root);
                exit(0);
            default:
                cout << "错误" << endl;
                system("pause");
        }
    }
}
```

## 5.2 AvlTree.h

```
//
// Created by HHR on 2019/11/27.
//
#ifndef DATA_STRUCTURE_FINAL_AVLTREE_H
#define DATA_STRUCTURE_FINAL_AVLTREE_H

#include "Node.h"
#include "ShadowTreeNode.h"

class AvlTree {
public:
    Node *root;

    AvlTree() {//默认构造函数，初始化 root 指针，防止出现悬挂指针的现象
        root = nullptr;
    }

    static int getHeight(Node *tree) {//静态成员函数，用于获得树的高度
        if (tree != nullptr) return tree->getHeight();
        return -1;//如果节点不存在，那么它的高度是-1
    }

    void addUser(string &, string &);//添加用户功能
    void print();//使用影子树正向打印树
    static Node *addNode(Node *pNode, string &name, string &password);//静态成员函数，用于添加节点
    static ShadowTreeNode *ShadowTreeBuild(Node *Tree, ShadowTreeNode *ShadowTree, int TreeRow);//静态成员函数，用于生成影子树
    static Node *LeftSpin(Node *);//静态成员函数，将二叉树左旋
    static Node *RightSpin(Node *);//静态成员函数，将二叉树右旋
    static Node *SearchNode(const string &, Node *);//静态成员函数，搜索用户名对应的节点，返回指向它的指针
    static Node *remove(Node *, const string &);//静态成员函数，删除一个节点
    static Node *maxNode(Node *);//静态成员函数，返回左子树的最大节点，在删除节点时被调用
    static Node *minNode(Node *);//静态成员函数，返回右子树的最小节点，在删除节点时被调用
```

```
    void removeUser(string &);//删除用户名对应的用户
    void save(Node *);//保存树到文件
};

#endif //DATA_STRUCTURE_FINAL_AVLTREE_H
```

### 5.3 AvlTree.cpp

```
//
// Created by HHR on 2019/11/27.
//
#include "AvlTree.h"
#include "ShadowTreeNode.h"
#include <queue>
#include <fstream>

void AvlTree::save(Node *tree) {
    if (tree == nullptr) {//如果根节点是空指针，说明这棵子树已经完成了遍历，即可退出
        return;
    }
    fstream out;
    if (tree == root) {//如果该节点是根节点，说明文件输出刚刚开始，则清除原有文件，否则在文件尾追加
        out.open("database.dat", ios::out);
    } else {
        out.open("database.dat", ios::out | ios::app);
    }
    out << tree->getName() << " " << tree->getPassword() << endl;
    out.close();
    save(tree->left);//递归遍历左子树
    save(tree->right);//递归遍历右子树
}

void AvlTree::addUser(string &name, string &password) {
    if (SearchNode(name, root) != nullptr) return;//如果用户已经存在，则不添加
    root = addNode(root, name, password);//调用 addNode 函数添加节点
}

void AvlTree::removeUser(string &name) {
```

```
    if (SearchNode(name, root) == nullptr) return;//如果用户不存在，则不删除
    root = remove(root, name);//调用 remove 函数删除节点
}

Node *AvlTree::addNode(Node *pNode, string &name, string &password) {
    if (pNode == nullptr) { //找到空的插入点，创建一个新的 Node，并返回插入点
        pNode = new Node(name, password);
        return pNode;
    } else if (name < pNode->getName()) {//要插入左边
        pNode->left = addNode(pNode->left, name, password);
        if (getHeight(pNode->left) - getHeight(pNode->right) == 2) {//平衡因子为 2，发生了不平衡
            if (name < pNode->left->getName()) {//添加的节点在左子树的左子树内，采用右旋操作
                pNode = RightSpin(pNode);
            } else {//添加的节点在左子树的右子树内，采用先左旋再右旋操作
                pNode->left = LeftSpin(pNode->left);
                pNode = RightSpin(pNode);
            }
        }
    } else {
        pNode->right = addNode(pNode->right, name, password);
        if (getHeight(pNode->right) - getHeight(pNode->left) == 2) {//平衡因子为 2，发生了不平衡
            if (name > pNode->right->getName()) {//添加的节点在右子树的右子树内，采用左旋操作
                pNode = LeftSpin(pNode);
            } else {//添加的节点在右子树的左子树内，采用先右旋再左旋操作
                pNode->right = RightSpin(pNode->right);
                pNode = LeftSpin(pNode);
            }
        }
    }
    pNode->setHeight(max(getHeight(pNode->left), getHeight(pNode->right)) + 1);//获取完成插入后新的树的高度
    return pNode;
}
```

```
Node *AvlTree::SearchNode(const string &name, Node *root) {
    if (root == nullptr) return nullptr;//如果节点为空，说明找不到需要的节点，返回空指针
    if (root->getName() == name) {//如果节点内容与查找值相同，返回找到的节点指针
        return root;
    } else if (root->getName() > name) {//如果节点的内容比查找值大，说明目标节点在左子树，递归进入查找
        return SearchNode(name, root->left);
    } else {//否则去右子树查找
        return SearchNode(name, root->right);
    }
}

Node *AvlTree::remove(Node *root, const string &name) {
    if (root == nullptr) return nullptr;//如果节点是空的，说明要删除的东西不存在，返回空指针
    if (name < root->getName()) {//如果节点的内容比查找值大，说明目标节点在左子树，递归进入
        root->left = remove(root->left, name);
        if (getHeight(root->right) - getHeight(root->left) == 2) {//如果平衡因子为 2，说明发生了失衡，需要旋转
            Node *right = root->right;//右子树比较深，说明右子树需要进行旋转
            if (getHeight(right->left) > getHeight(right->right)) {//如果右子树的左子树比较深，执行先右旋再左旋
                root->right = RightSpin(root->right);
                root = LeftSpin(root);
            } else {//否则直接左旋
                root = LeftSpin(root);
            }
        }
    } else if (name > root->getName()) {//如果用户名比当前节点要大，说明要删除的节点在右子树，递归进入
        root->right = remove(root->right, name);
        if (getHeight(root->left) - getHeight(root->right) == 2) {//如果平衡因子为 2，说明发生了失衡，需要旋转
            Node *left = root->left;//左子树比较深，说明左子树需要进行旋转
            if (getHeight(left->left) < getHeight(left->right)) {//如果左子树的右子树比较深，执行先左旋再右旋
                root->left = LeftSpin(root->left);
```

```
                root = RightSpin(root);
            } else {//否则直接右旋
                root = RightSpin(root);
            }
        }
    } else {//既不偏大，也不偏小，显然是找到了删除点
        if (root->left != nullptr && root->right != nullptr)
{//两侧都存在子树
            if (getHeight(root->left) >
getHeight(root->right)) {//如果左子树比较深
                Node *toRemove = maxNode(root->left);//删除点
的内容会被左子树的最大值替换，所以找到左子树的最大值
                root->setName(toRemove->getName());//将根节点
（也就是要删除的节点）的信息替换为左子树的最大节点
                root->setPassword(toRemove->getPassword());
                root->left = remove(root->left,
toRemove->getName());//删除左子树最大的节点
            } else {
                Node *toRemove = minNode(root->right);//删除点
的内容会被右子树的最小值替换，所以找到右子树的最小值
                root->setName(toRemove->getName());
                root->setPassword(toRemove->getPassword());
                root->right = remove(root->right,
toRemove->getName());
            }
        } else {//如果至少有一侧是空的，那就直接把一棵子树提高
            Node *tmp = root;
            if (root->left != nullptr) {//如果左子树存在，就将右
节点提高
                root = root->left;
            } else {//否则将左节点提高
                root = root->right;
            }
            delete tmp;//删除根节点
        }
    }
    if (root != nullptr) {
        root->setHeight(max(getHeight(root->left),
getHeight(root->right)) + 1);
    }
    return root;
}

Node *AvlTree::maxNode(Node *root) {
```

```
    if (root->right != nullptr) {//如果右子树存在，说明最大的节点在右子树内
        return maxNode(root->right);//递归查找右子树
    }
    return root;//如果右子树不存在，说明该节点即为最大的节点
}

Node *AvlTree::minNode(Node *root) {
    if (root->left != nullptr) {//如果左子树存在，说明最小的节点在左子树内
        return maxNode(root->left);//递归查找左子树
    }
    return root;//如果左子树不存在，说明该节点即为最大的节点
}

void AvlTree::print() {
    if (root == nullptr) return;//如果根节点不存在，显然是不需要打印的，返回
    ShadowTreeNode *ShadowTree = nullptr;
    ShadowTree = ShadowTreeBuild(root, ShadowTree, 1);//开始时，应该打印在第一行
    queue<ShadowTreeNode *> queue;//建立一个打印队列
    queue.push(ShadowTree);
    int MaxRow = 1, MaxColumn = 0;
    int MaxLength = 6;//设置内容的最大长度，以对齐树
    while (!queue.empty()) {//如果打印队列非空
        ShadowTreeNode *pShadowTreeNode = queue.front();//取出队列第一项
        queue.pop();
        if (pShadowTreeNode->row > MaxRow) {//如果行数超过了最大行数，说明要开始打印下一行
            cout << endl;//换行
            MaxRow = pShadowTreeNode->row;//重设最大行数
            MaxColumn = 0;
        }
        string tmpName = pShadowTreeNode->name;
        if (tmpName.length() > MaxLength) {//检查名字有没有过长，如果太长，就将其截断，否则在后面补上空格
            tmpName[MaxLength - 1] = '.';
        } else {
            for (int i = tmpName.length(); i < MaxLength; i++)
                tmpName.append(" ");
        }
```

```
        for (int i = 1; i < pShadowTreeNode->column -
MaxColumn; i++) {//输出前置的空格
            for (int j = 0; j < MaxLength; j++) cout << ' ';
        }
        cout << tmpName.substr(0, MaxLength);//打印出内容
        MaxColumn = pShadowTreeNode->column;
        if (pShadowTreeNode->left != nullptr)
queue.push(pShadowTreeNode->left);//如果左子树非空，将其加入打
印队列
        if (pShadowTreeNode->right != nullptr)
queue.push(pShadowTreeNode->right);
    }
    cout << endl;
}

ShadowTreeNode *AvlTree::ShadowTreeBuild(Node *Tree,
ShadowTreeNode *ShadowTree, int TreeRow) {
    if (Tree != nullptr) {
        static int TreeColumn;//这个变量需要 static，保证不变
        if (TreeRow == 1) {
            TreeColumn = 1;//第一行只有一列
        }
        ShadowTree = new ShadowTreeNode();
        ShadowTree->left = ShadowTreeBuild(Tree->left,
ShadowTree->left, TreeRow + 1);//递归建立左子树
        ShadowTree->column = TreeColumn++;//设置影子树节点的内
容
        ShadowTree->row = TreeRow;
        ShadowTree->name = Tree->getName();
        ShadowTree->right = ShadowTreeBuild(Tree->right,
ShadowTree->right, TreeRow + 1);//递归建立右子树
    }
    return ShadowTree;
}

Node *AvlTree::RightSpin(Node *root) {
    Node *left = root->left;
    root->left = left->right;
    left->right = root;
    root->setHeight(max(getHeight(root->left),
getHeight(root->right)) + 1);//旋转后，重设树的高度
    left->setHeight(max(getHeight(left->left),
getHeight(left->right)) + 1);
    return left;
```

```
}

Node *AvlTree::LeftSpin(Node *root) {
    Node *right = root->right;
    root->right = right->left;
    right->left = root;
    root->setHeight(max(getHeight(root->left),
getHeight(root->right)) + 1);//旋转后，重设树的高度
    right->setHeight(max(getHeight(right->left),
getHeight(right->right)) + 1);
    return right;
}
```

## 5.4 Node.h

```
//
// Created by HHR on 2019/11/27.
//
#ifndef DATA_STRUCTURE_FINAL_NODE_H
#define DATA_STRUCTURE_FINAL_NODE_H

#include <iostream>

using namespace std;

class Node {
public:
    Node(string &, string &);

    Node *left = nullptr;
    Node *right = nullptr;

    string getName() {
        return name;
    }

    string getPassword() {
        return password;
    }

    int getHeight() {
        return height;
    }
```

```
    void setHeight(int);

    void setName(basic_string<char> _name) {
        name = std::move(_name);
        //std::move 为 C++11 标准新增加的功能，可以在传输 string 类型遍历时，避免不必要的析构操作，提高代码效率
        //https://www.cnblogs.com/SZxiaochun/p/8017349.html
    }

    void setPassword(basic_string<char> _password) {
        password = std::move(_password);
        //std::move 为 C++11 标准新增加的功能，可以在传输 string 类型遍历时，避免不必要的析构操作，提高代码效率
        //https://www.cnblogs.com/SZxiaochun/p/8017349.html
    }

private:
    string name;
    string password;
    int height;//节点高度
};

#endif //DATA_STRUCTURE_FINAL_NODE_H
```

## 5.5 Node.cpp

```
//
// Created by HHR on 2019/11/27.
//

#include "Node.h"

Node::Node(string &name, string &password) {
    this->name = name;
    this->password = password;
    height = 0;
}

void Node::setHeight(int i) {
    this->height = i;
}
```

## 5.6 ShadowTreeNode.h

```
//
// Created by HHR on 2019/11/30.
//

#ifndef DATA_STRUCTURE_FINAL_SHADOWTREENODE_H
#define DATA_STRUCTURE_FINAL_SHADOWTREENODE_H

#include <iostream>

using namespace std;

class ShadowTreeNode {
public:
    int row = 0;
    int column = 0;
    string name = "";
    ShadowTreeNode *left = nullptr;
    ShadowTreeNode *right = nullptr;
};


#endif //DATA_STRUCTURE_FINAL_SHADOWTREENODE_H
```