

**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](#_Toc27412519)

[2 设计思路 3](#_Toc27412520)

[2.1 系统总体设计 3](#_Toc27412521)

[2.2 系统功能设计 4](#_Toc27412522)

[2.2.1 用户登陆验证功能 4](#_Toc27412523)

[2.2.2 添加用户功能 4](#_Toc27412524)

[2.2.3 显示用户功能 4](#_Toc27412525)

[2.2.4 删除用户功能 4](#_Toc27412526)

[2.2.5 修改密码功能 4](#_Toc27412527)

[2.3 类的设计 5](#_Toc27412528)

[2.3.1 AvlTree类 5](#_Toc27412529)

[2.3.2 Node类 11](#_Toc27412530)

[2.3.3 ShadowTreeNode类 11](#_Toc27412531)

[2.4 主程序的设计 11](#_Toc27412532)

[3 调试分析 12](#_Toc27412533)

[3.1 技术难点分析 12](#_Toc27412534)

[3.2 调试错误分析 12](#_Toc27412535)

[4 测试结果分析 13](#_Toc27412536)

[4.1 登陆 13](#_Toc27412537)

[4.2 管理员界面 13](#_Toc27412538)

[4.2.1 正向打印树 14](#_Toc27412539)

[4.2.2 添加用户 14](#_Toc27412540)

[4.2.3 删除用户 15](#_Toc27412541)

[4.3 一般用户 15](#_Toc27412542)

[4.3.1 修改密码 15](#_Toc27412543)

[5 附录 16](#_Toc27412544)

[5.1 main.cpp 16](#_Toc27412545)

[5.2 AvlTree.h 21](#_Toc27412546)

[5.3 AvlTree.cpp 22](#_Toc27412547)

[5.4 Node.h 28](#_Toc27412548)

[5.5 Node.cpp 29](#_Toc27412549)

[5.6 ShadowTreeNode.h 30](#_Toc27412550)

# 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**

# 设计思路

## 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。

## 系统功能设计



### 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

### 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

### 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。

### 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。

### 修改密码功能

普通用户可以更改自己的密码

## 类的设计



### 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。

#### save函数



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。

#### addNode函数



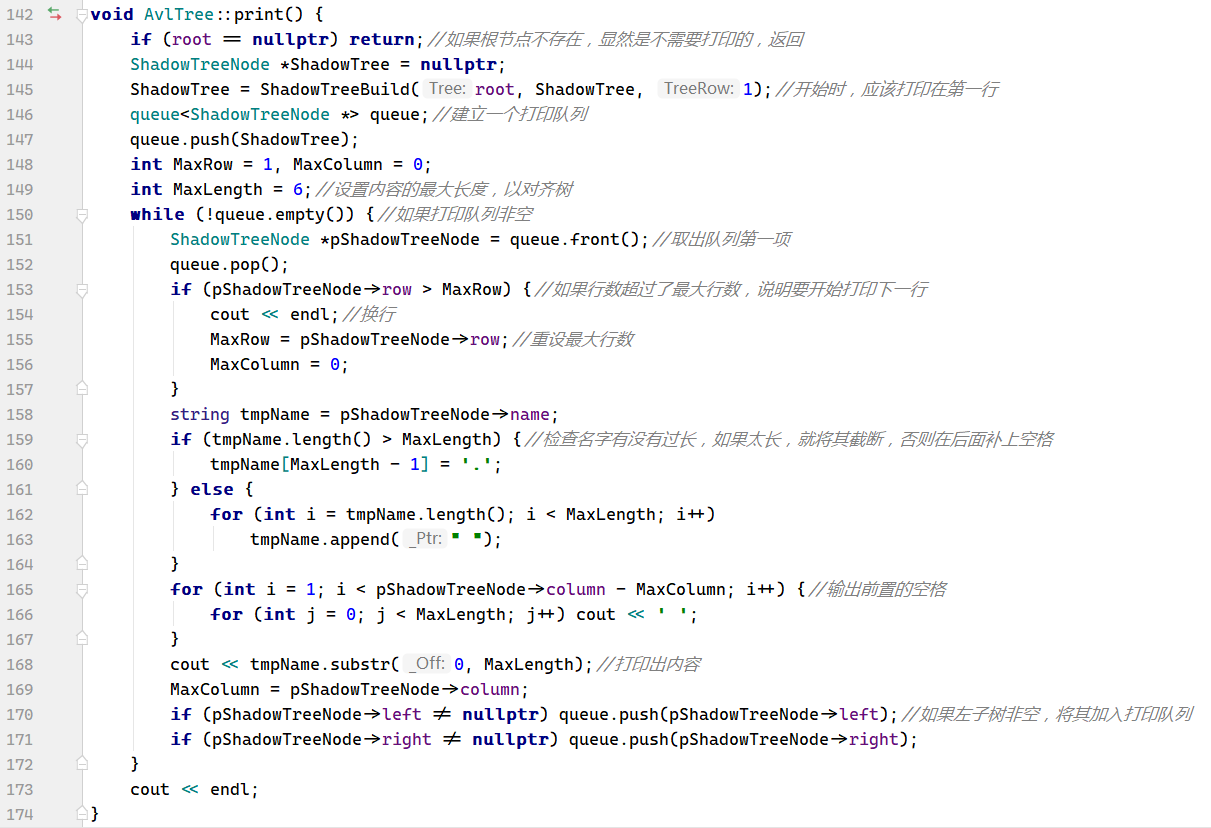
在插入新的节点时，我们需要一层一层向下寻找插入点，进行插入。完成插入后，如果树失衡了，要使用[Spin](#_Spin函数)函数进行调整。

#### remove函数

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](#_Spin函数)函数进行调整。

#### print函数



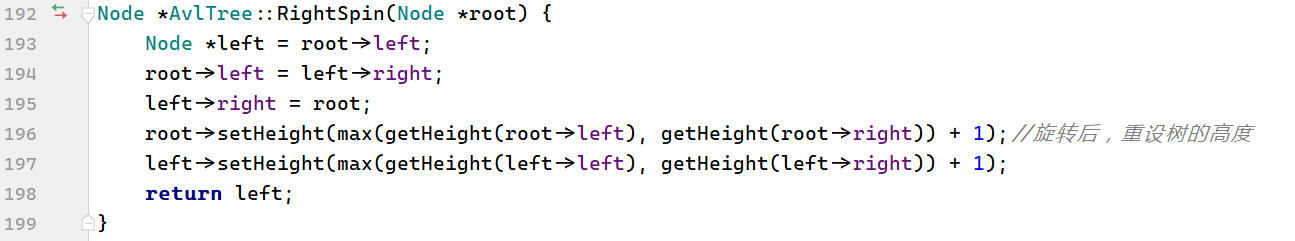
Print函数使用了影子树实现Avl树的正向打印。影子树是通过保存树中每一个节点的横纵坐标信息，来正向打印二叉树的一种数据结构。通过影子树打印，可以获取更好的打印效果。

#### 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。



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。

### 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。

### 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。

## 主程序的设计



# 调试分析

## 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。

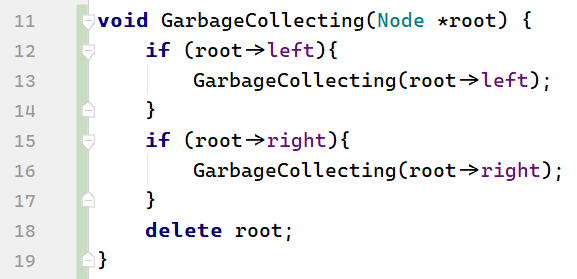
## 调试错误分析

* + - 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。

* + - 1. 由于没有进行内存回收，导致内存泄漏



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。

# 测试结果分析

## 登陆

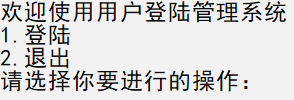


图4.1.1



图4.1.2

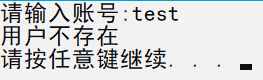


图4.1.3

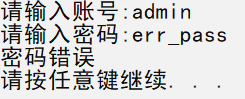


图4.1.4

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）

## 管理员界面

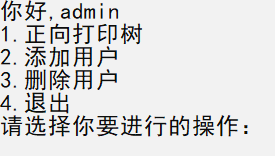


图4.2.1

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。

### 正向打印树

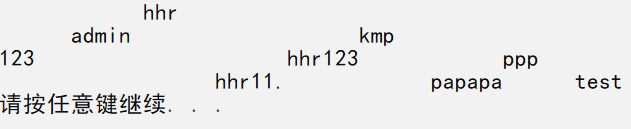


图4.2.1.1

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。

### 添加用户

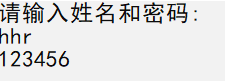


图4.2.2.1

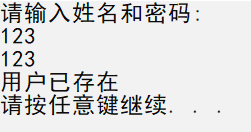


图4.2.2.2

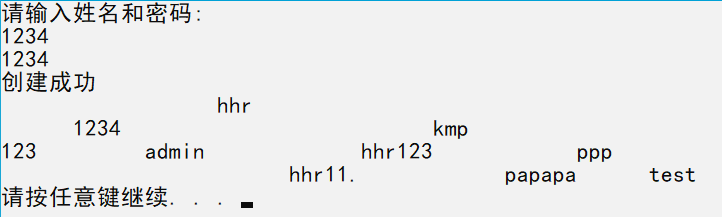


图4.2.2.3

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）。

### 删除用户

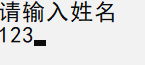


图4.2.3.1

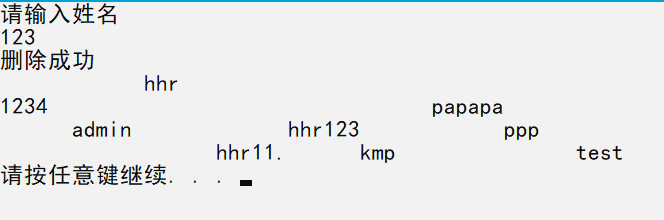


图4.2.3.2

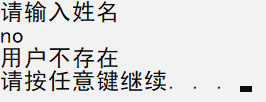


图4.2.3.3

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）。

## 一般用户

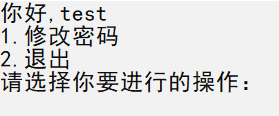


图4.3.1

如果用户为一般用户，则只允许修改密码（图4.3.1）。

### 修改密码



图4.3.1.1

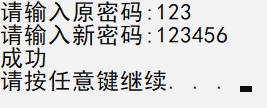


图4.3.1.2

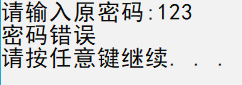


图4.3.1.3

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）。

# 附录

## 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"**);  
 }  
 }  
}

## 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*

## 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;  
}

## 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*

## 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;  
}

## 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*