

**课 程 实 验 报 告**

**课程名称： 数据结构实验**

**专业班级： 计算机科学与技术202008**

**学 号： U202015533**

**姓 名： 徐瑞达**

**指导教师： 袁凌**

**报告日期： 2021年 5月6日**

**计算机科学与技术学院**

目 录

[1 基于顺序存储结构的线性表实现 2](#_Toc75972686)

[1.1 问题描述 2](#_Toc75972687)

[1.2 系统设计 3](#_Toc75972688)

[1.3 系统实现 5](#_Toc75972689)

[**1.4 系统测试** 7](#_Toc75972690)

[1.5 实验小结 11](#_Toc75972691)

[2 基于链式存储结构的线性表实现 12](#_Toc75972692)

[2.1 问题描述 12](#_Toc75972693)

[2.2 系统设计 13](#_Toc75972694)

[2.3 系统实现 15](#_Toc75972695)

[2.4 系统测试 17](#_Toc75972696)

[2.5 实验小结 20](#_Toc75972697)

[3 基于二叉链表的二叉树实现 21](#_Toc75972698)

[3.1 问题描述 21](#_Toc75972699)

[3.2 系统设计 23](#_Toc75972700)

[3.3 系统实现 25](#_Toc75972701)

[3.4 系统测试 28](#_Toc75972702)

[3.5 实验小结 33](#_Toc75972703)

[4 基于邻接表的图实现 34](#_Toc75972704)

[4.1 问题描述 34](#_Toc75972705)

[4.2 系统设计 36](#_Toc75972706)

[4.3 系统实现 37](#_Toc75972707)

[4.4 系统测试 40](#_Toc75972708)

[4.5 实验小结 46](#_Toc75972709)

[参考文献 47](#_Toc75972710)

# 1 基于顺序存储结构的线性表实现

## 1.1 问题描述

该实验要解决的基本问题是实现线性表的各个基本功能，如初始化表、销毁表、清空表、判定空表、求表长和获得元素等等。

其中，在主程序中完成函数调用所需实参值的准备和函数执行结果的显示。可选择以文件的形式进行存储和加载，也即将生成的线性表存入到相应的文件中，也可以从文件中获取线性表进行操作。

### 1.1.1需实现的基本运算

依据最小完备性和常用性相结合的原则，以函数形式定义了线性表的初始化表、销毁表、清空表、判定空表、求表长和获得元素等17种基本运算，具体运算功能定义如下。

⑴初始化表：函数名称是InitList(L)；初始条件是线性表L不存在；操作结果是构造一个空的线性表。

⑵销毁表：函数名称是DestroyList(L)；初始条件是线性表L已存在；操作结果是销毁线性表L。

⑶清空表：函数名称是ClearList(L)；初始条件是线性表L已存在；操作结果是将L重置为空表。

⑷判定空表：函数名称是ListEmpty(L)；初始条件是线性表L已存在；操作结果是若L为空表则返回TRUE,否则返回FALSE。

⑸求表长：函数名称是ListLength(L)；初始条件是线性表已存在；操作结果是返回L中数据元素的个数。

⑹获得元素：函数名称是GetElem(L,i,e)；初始条件是线性表已存在，1≤i≤ListLength(L)；操作结果是用e返回L中第i个数据元素的值。

⑺查找元素：函数名称是LocateElem(L,e,compare())；初始条件是线性表已存在；操作结果是返回L中第1个与e满足关系compare（）关系的数据元素的位序，若这样的数据元素不存在，则返回值为0。

⑻获得前驱：函数名称是PriorElem(L,cur\_e,pre\_e)；初始条件是线性表L已存在；操作结果是若cur\_e是L的数据元素，且不是第一个，则用pre\_e返回它的前驱，否则操作失败，pre\_e无定义。

⑼获得后继：函数名称是NextElem(L,cur\_e,next\_e)；初始条件是线性表L已存在；操作结果是若cur\_e是L的数据元素，且不是最后一个，则用next\_e返回它的后继，否则操作失败，next\_e无定义。

⑽插入元素：函数名称是ListInsert(L,i,e)；初始条件是线性表L已存在，1≤i≤ListLength(L)+1；操作结果是在L的第i个位置之前插入新的数据元素e。

⑾删除元素：函数名称是ListDelete(L,i,e)；初始条件是线性表L已存在且非空，1≤i≤ListLength(L)；操作结果：删除L的第i个数据元素，用e返回其值。

⑿遍历表：函数名称是ListTraverse(L,visit())，初始条件是线性表L已存在；操作结果是依次对L的每个数据元素调用函数visit()。

⒀保存线性表：函数名称是SaveList(L,FileName)，初始条件是线性表L已存在；操作结果是将线性表元素按顺序保存至文件名为FileName的文件中。

⒁加载线性表：函数名称是LoadList(L,FileName)，初始条件是线性表L不存在；操作结果是将文件名为FileName的文件加载到线性表中。

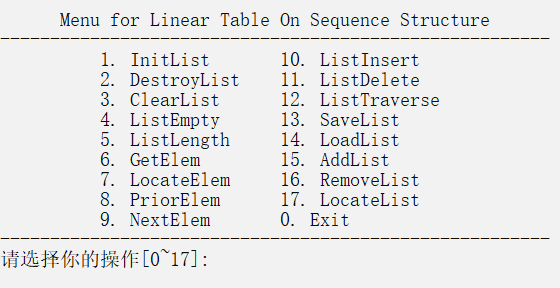
⒂在管理表中插入一个线性表：函数名称是AddList(Lists,ListName)，无初始条件；操作结果是将文件名为ListName的线性表添加到管理表中。

⒃在管理表中删除一个线性表：函数名称是RemoveList(Lists, ListName)，初始条件是多线性表非空；操作结果是将文件名为ListName的线性表删除。

⒄在管理表中查找一个线性表：函数名称是LocateList(Lists, ListName)，初始条件是多线性表非空；操作结果是查找文件名为ListName的线性表并可对其进行操作。

## 1.2 系统设计

本次实验的系统设计如下：将菜单演示和用户选择写入到while循环中，用OP获取用户的选择，OP初始化为1,以便第一次能进入循环。进入循环后系统首先显示功能菜单，然后用户输入选择0-17,其中1-17分别代表对线性表或线性表的管理表的一个基本运算，在主函数中通过switch语句对应到相应的函数功能，执行完该功能后break跳出switch语句，继续执行while循环，直至用户输入0退出当前演示系统。 (系统功能设计结构如图1-1所示)



**图1-1 演示系统结构图**

其中，本次实验使用的数据结构定义为：

#define TRUE 1

#define FALSE 0

#define OK 1

#define ERROR 0

#define INFEASIBLE -1

#define OVERFLOW -2

#define LIST\_INIT\_SIZE 10

#define LISTINCREMENT 10

typedef int status;

typedef int ElemType; //数据元素类型定义

typedef struct{ //顺序表（顺序结构）的定义

ElemType \* elem;

int length;

int listsize;

}SqList;

typedef struct{ //线性表的管理表定义

struct{

char name[30];

SqList L;

}elem[10];

int length;

int listsize;

}LISTS;

## 1.3 系统实现

线性表运算算法思想与设计如下：

⑴初始化线性表思想：将线性表初始化过程写成函数，其中传入函数的参数是主函数中定义的结构型变量L的引用。在函数中，首先判断L是否创建，如果未创建则使用malloc函数分配LIST\_INIT\_SIZE大小的连续内存空间，如果分配成功则将newbase赋值给L.elem，由于线性表的长度为0，将 L.length初始化为0，L.listsize初始化为LIST\_INIT\_SIZE，即完成了线性表的初始化。经分析，算法的时间复杂度为O(1)。

⑵销毁线性表思想：将销毁线性表的过程写成函数，其中传入函数的参数是主函数中定义的结构性变量L的引用。在函数中，首先使用free函数释放掉以L.elem为首地址的连续内存空间，再将 L.length，L.listsize重新赋值为0。经分析，该算法的时间复杂度为O(1)。

⑶清空线性表的思想：将清空表的过程写成函数，其中将主函数中定义的 结构性变量L的引用作为函数参数。在函数中，由于清空操作并不释放内存空间，故只需将线性表的长度置为0即可。经分析，该算法的时间复杂度为O(1)。

⑷求线性表表长的思想：将求表长过程写成函数，其中主函数中定义的结 构性变量L的引用作为函数的参数，在函数中，直接返回L.length即为所求线性表的表长。经分析，该算法的时间复杂度为O(1)。

⑸获得元素的算法思想：将获得线性表元素写成函数，其中函数的参数是结构型变量L以及数据元素的序号i,由于采取的是线性存储结构，故直接通过访问数组的方式即L.elem[i-1]来获取元素，当然，在这之前需要判断合法性。经分析，该算法的时间复杂度为O(1)。

⑹查找元素的算法思想：将查找线性表特定值的数据元素写成函数，其中函数的参数是主函数中定义的结构类型变量L以及查找的数据元素的值，通过循环对线性表中的每一个元素与给定值比较是否相等，如果相等就返回该元素的位置。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑺获得直接前驱算法思想：将获得直接前驱元素的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量以及特定数据元素的值，接受前驱的变量。在函数中，首先判断线性表是否为空，若不为空则调用获得元素的函数判断该线性表中特定数据元素的位序，如果位置为1，则返回ERROR, 否则将其前一个元素即L.elem[i-2]赋给接受前驱的变量。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑻获得后继算法思想：将获得直接后继元素的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量以及特定数据元素的值，接受后继的变量。在函数中，首先判断线性表是否为空，若不为空则调用获得元素的函数判断该线性表中特定数据元素的位序。如果位置为L.length，则返回ERROR, 否则将其后一个元素即L.elem[i]赋给接受后继的变量。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑼插入元素算法思想：将插入函数写成函数，函数的参数是结构型变量的引用，插入元素的值以及插入位置。在函数中，首先判断插入位置的合法性， 即是否在线性表中合适的位置，其次还要判断当前存储空间是否已满，如果存储空间已满则要用realloc函数重新分配空间，插入元素时要先从L.length开始将元素依次后移，然后将待插入元素插入到空位中。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑽删除元素算法思想：将删除线性表中元素写成函数，函数的参数是结构类型变量的引用，待删除元素的位置，接受待删除元素的变量。在函数中，首先判断位序的合法性，然后直接将删除元素位置后一个元素直到最后一个元素从前往后向前移动一个单元。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑾遍历线性表算法思想：将遍历线性表写成一个函数，函数的参数是结构类型变量，直接用一个循环来对线性表中的每一个元素进行操作（此处进行输出操作）。经分析，该算法的时间复杂度为 O(n)。

⑿保存线性表到文件中的算法思想：函数的参数是结构体变量L和待保存文件的路径。在函数中，创建一个指向待保存文件的文件指针，通过循环依次将线性表中的数据写入文件中。经分析，该算法的算法复杂度是O(n)。

⒀加载文件到线性表中的算法：函数的参数是结构体变量L的引用和待加载文件的路径。在函数中，创建一个指向待加载文件的文件指针，并要为线性表L分配空间，通过循环依次将文件中的数据读入线性表中，如果存储已满，还要增加分配空间。经分析，该算法的算法复杂度是O(n)。

⒁插入一个线性表算法思想：函数的参数是管理表的引用和待插入线性表的名称。在函数中，先在已存在的管理表中的末尾处开辟新的线性表的存储空间，并将管理表长度增加1。经分析，该算法的时间复杂度是O(1)。

⒂删除一个线性表算法思想：函数的参数是管理表的引用和待删除线性表的名称。在函数中，通过循环比较线性表名称和待删除线性表的名称，如果没有找到则返回ERROR，否则就先摧毁待删除线性表，然后自该位置起从前往后将下一个线性表复制到前一个线性表中。经分析，该算法复杂度是O（n2）。

⒃定位一个线性表算法思想：函数参数是管理表Lists和待查找的线性表名称。在函数中，通过循环比较待查找线性表名称和管理表中线性表的名称，如果匹配成功则返回该线性表位序，否则返回ERROR。经分析，该算法复杂度是O(n)。

**1.4 系统测试**

输入样例解释：第一个数字为测试序号，代表该测试序号所调用的函数；然后是需要输入的数据。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 调用函数 | 输入 | 预期输出 | 实际输出 |
| DestroyList销毁线性表 | 2 | 线性表未创建，无需销毁 |  |
| ClearList清空线性表 | 3 | 线性表清除失败线性表未创建 |  |
| ListLength求表长 | 5 | 线性表未创建 |  |
|  | 1 | 线性表创建成功 |  |
| InitList创建线性表 | 1 | 线性表已创建 |  |
| ListEmpty判空 | 4 | 线性表为空表 |  |
| ListLength求表长 | 5 | 线性表的长度为0 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 3 4 | 元素位置不合法 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 3 1 | 插入元素成功，当前线性表的长度为1 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 7 2 | 插入元素成功，当前线性表的长度为2 |  |
| ListTraverse遍历线性表 | 12 | 3 7 |  |
| ListEmpty判空 | 4 | 线性表不为空表 |  |
| ListLength求表长 | 5 | 线性表的长度为2 |  |
| GetElem获取某位置的元素 | 6 3 | 输入位置不合法 |  |
| GetElem获取某位置的元素 | 6 0 | 输入位置不合法 |  |
| GetElem获取某位置的元素 | 6 2 | 线性表中第2个元素是7 |  |
| LocateElem查找某元素 | 7 3 | 线性表中元素3的位置是1 |  |
| LocateElem查找某元素 | 7 5 | 该元素不在线性表中 |  |
| PriorElem获取直接前驱 | 8 3 | 该元素无直接前驱 |  |
| PriorElem获取直接前驱 | 8 7 | 线性表中元素7的直接前驱元素是3 |  |
| PriorElem获取直接前驱 | 8 2 | 该元素不在线性表中 |  |
| NextElem获取直接后继 | 9 3 | 线性表中元素3的直接后继元素是7 |  |
| NextElem获取直接后继 | 9 7 | 该元素无直接后继 |  |
| NextElem获取直接后继 | 9 2 | 该元素不在线性表中 |  |
| ListDelete删除元素 | 11 2 | 删除元素成功，被删除元素为7，当前线性表的长度为1 |  |
| ListDelete删除元素 | 11 0 | 元素位置不合法 |  |
| ListDelete删除元素 | 11 3 | 元素位置不合法 |  |
| ListInsert插入元素 | 在第一个元素后依次插入5 7 9 11 23等5个元素，过程截图略 | | |
| ListTraverse遍历线性表 | 12 | 3 5 7 9 11 23 |  |
| SaveList保存文件 | 13 test | 文件成功保存至test |  |
| DestroyList销毁线性表 | 2 | 线性表销毁成功 |  |
| ListTraverse遍历线性表 | 12 | 线性表未创建 |  |
| LoadList加载文件 | 14 test | 文件成功加载至当前线性表 |  |
| ListTraverse遍历线性表 | 12 | 3 5 7 9 11 23 |  |
| AddList添加线性表 | 15 1 3 其余输入见截图 | Xiaohong 1 2 3  Xiaogang  Xiaoming |  |
| RemoveList移除线性表 | 16 Xiaoxiao | 删除线性表失败 |  |
| RemoveList移除线性表 | 16 Xiaogang | Xiaohong 1 2 3  Xiaoming |  |
| LocateList查找线性表 | 17 Xiaogang | 该线性表不在此管理表中 |  |
| LocateList查找线性表 | 17 Xiaohong | Xiaohong 1 2 3 |  |
| ListTraverse遍历线性表 | 12 | 1 2 3 |  |
| 退出系统 | 0 |  |  |

## 1.5 实验小结

在实验中，我遇到了如下几个错误：

（1）在功能演示系统中，调用插入元素函数时将参数写反，导致出错，由于自己在测试时使用的数据中位置和元素一样未发现错误，后来在助教检查时方测试出来。这也给我提了醒，以后在测试时要尽量使测试数据随机。

（2）在添加case语句时，由于忘记添加break而导致了两个函数的测试过程相连接，经过同学提醒才意识到这一点。

（3）在代码健壮性方面，未能及时添加文件是否打开成功，文件指针的释放等代码，尽管在测试中可能影响不大，但在实际应用中可能是隐患。同时，对于判断分配空间是否成功这一点也是在后来优化代码时添加的。

（4）在代码优化部分，在对多线性表的管理程序的测试时发现每次输入数据过程繁琐，因此添加了从文件读入的选择，大大节省了测试时间。在以后的实验中，也要注意使用文件输入来进行测试。

# 2 基于链式存储结构的线性表实现

## 2.1 问题描述

该实验要解决的基本问题是实现单链表的各个基本功能，如初始化表、销毁表、清空表、判定空表、求表长和获得元素等等。

其中，在主程序中完成函数调用所需实参值的准备和函数执行结果的显示。可选择以文件的形式进行存储和加载，也即将生成的单链表存入到相应的文件中，也可以从文件中获单链表进行操作。

### 2.1.1需实现的基本运算

依据最小完备性和常用性相结合的原则，以函数形式定义了单链表的初始化表、销毁表、清空表、判定空表、求表长和获得元素等17种基本运算，具体运算功能定义如下。

⑴初始化表：函数名称是InitList(L)；初始条件是单链表L不存在；操作结果是构造一个空的单链表。

⑵销毁表：函数名称是DestroyList(L)；初始条件是单链表L已存在；操作结果是销毁单链表L。

⑶清空表：函数名称是ClearList(L)；初始条件是单链表L已存在；操作结果是将L重置为空表。

⑷判定空表：函数名称是ListEmpty(L)；初始条件是单链表L已存在；操作结果是若L为空表则返回TRUE,否则返回FALSE。

⑸求表长：函数名称是ListLength(L)；初始条件是单链表已存在；操作结果是返回L中数据元素的个数。

⑹获得元素：函数名称是GetElem(L,i,e)；初始条件是单链表已存在，1≤i≤ListLength(L)；操作结果是用e返回L中第i个数据元素的值。

⑺查找元素：函数名称是LocateElem(L,e,compare())；初始条件是单链表已存在；操作结果是返回L中第1个与e满足关系compare（）关系的数据元素的位序，若这样的数据元素不存在，则返回值为0。

⑻获得前驱：函数名称是PriorElem(L,cur\_e,pre\_e)；初始条件是单链表L已存在；操作结果是若cur\_e是L的数据元素，且不是第一个，则用pre\_e返回它的前驱，否则操作失败，pre\_e无定义。

⑼获得后继：函数名称是NextElem(L,cur\_e,next\_e)；初始条件是单链表L已存在；操作结果是若cur\_e是L的数据元素，且不是最后一个，则用next\_e返回它的后继，否则操作失败，next\_e无定义。

⑽插入元素：函数名称是ListInsert(L,i,e)；初始条件是单链表L已存在，1≤i≤ListLength(L)+1；操作结果是在L的第i个位置之前插入新的数据元素e。

⑾删除元素：函数名称是ListDelete(L,i,e)；初始条件是单链表L已存在且非空，1≤i≤ListLength(L)；操作结果：删除L的第i个数据元素，用e返回其值。

⑿遍历表：函数名称是ListTraverse(L,visit())，初始条件是单链表L已存在；操作结果是依次对L的每个数据元素调用函数visit()。

⒀保存单链表：函数名称是SaveList(L,FileName)，初始条件是单链表L已存在；操作结果是将单链表元素按顺序保存至文件名为FileName的文件中。

⒁加载单链表：函数名称是LoadList(L,FileName)，初始条件是单链表L不存在；操作结果是将文件名为FileName的文件加载到单链表中。

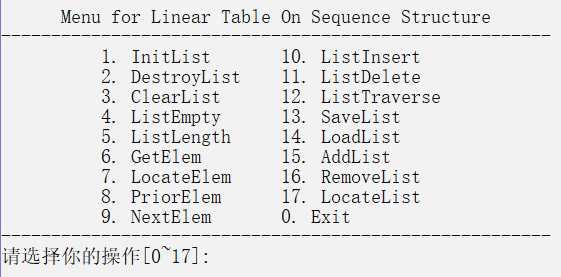
⒂在管理表中插入一个单链表：函数名称是AddList(Lists,ListName)，无初始条件；操作结果是将文件名为ListName的单链表添加到管理表中。

⒃在管理表中删除一个单链表：函数名称是RemoveList(Lists, ListName)，初始条件是多单链表非空；操作结果是将文件名为ListName的单链表删除。

⒄在管理表中查找一个单链表：函数名称是LocateList(Lists, ListName)，初始条件是多单链表非空；操作结果是查找文件名为ListName的单链表并可对其进行操作。

## 2.2 系统设计

本次实验的系统设计如下：将菜单演示和用户选择写入到while循环中，用OP获取用户的选择，OP初始化为1,以便第一次能进入循环。进入循环后系统首先显示功能菜单，然后用户输入选择0-17,其中1-17分别代表对单链表或单链表的管理表的一个基本运算，在主函数中通过switch语句对应到相应的函数功能，执行完该功能后break跳出switch语句，继续执行while循环，直至用户输入0退出当前演示系统。 (演示系统结构如图2-1所示)



**图2-1 演示系统结构图**

本次实验使用的数据结构定义为：

#define TRUE 1

#define FALSE 0

#define OK 1

#define ERROR 0

#define INFEASIBLE -1

#define OVERFLOW -2

#define LIST\_INIT\_SIZE 10

#define LISTINCREMENT 10

typedef int status;

typedef int ElemType; //数据元素类型定义

typedef struct LNode{ //单链表（链式结构）结点的定义

ElemType data;

struct LNode \*next;

}LNode,\*LinkList;

typedef struct{ //单链表的管理表定义

struct { char name[30];

LinkList L;

}elem[10];

int length;

}LISTS;

## 2.3 系统实现

单链表运算算法思想与设计如下：

⑴初始化单链表思想：将单链表初始化过程写成函数，其中传入函数的参数是主函数中定义的结构型变量L的引用。在函数中，首先判断L是否创建，如果未创建则使用malloc函数分配一个结点的内存空间，并把L的next指针域置为空。经分析，算法的时间复杂度为O(1)。

⑵销毁单链表思想：将销毁单链表的过程写成函数，其中传入函数的参数是主函数中定义的结构性变量L的引用。在函数中，使用循环依次将每个结点的内存空间释放，最后将头指针置为空。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑶清空单链表的思想：将清空单链表的过程写成函数，其中将主函数中定义的结构性变量L的引用作为函数参数。在函数中，使用循环从头结点开始依次释放内存，最后将L的指针域置为空。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑷求单链表表长的思想：将求表长过程写成函数，其中主函数中定义的结 构性变量L的引用作为函数的参数，在函数中，通过循环和计数变量记录结点数，最后返回计数结果即为表长。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑸获得元素的算法思想：将获得单链表元素写成函数，其中函数的参数是结构型变量L以及数据元素的序号i,由于采取的是链式存储结构，故通过循环依次访问结点并比较数据域的方式来获取元素，当然，如果位置不合法应返回ERROR。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑹查找元素的算法思想：将查找单链表特定值的数据元素写成函数，其中函数的参数是主函数中定义的结构类型变量L以及查找的数据元素的值，通过循环对单链表中的每一个结点的数据域与给定值比较是否相等，如果相等就返回该元素的位置。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑺获得直接前驱算法思想：将获得直接前驱元素的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量以及特定数据元素的值，接受前驱的变量。在函数中，首先判断单链表是否为空，若不为空则通过循环遍历元素比较，如果头结点元素即为所找元素则表明无直接前驱，如果头结点不是则用另一个指针指向当前遍历结点的前一个结点，当找到元素时将前一个结点的值赋给pre，若找不到则返回ERROR。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑻获得直接后继算法思想：将获得直接后继元素的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量以及特定数据元素的值，接受后继的变量。在函数中，首先判断单链表是否为空，若不为空则通过循环遍历元素比较，当找到元素时将后一个结点的值赋给next，若该元素对应最后一个结点则表明无直接后继，若找不到元素则返回ERROR。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑼插入元素算法思想：将插入元素写成函数，函数的参数是结构型变量的引用，插入元素的值以及插入位置。在函数中，首先判断插入位置的合法性， 即是否在单链表中合适的位置，插入元素时如果单链表结点数为0，则直接令L指向新创建的待插入结点，若不是则先定位至插入位置处更改结点的指针域来实现插入。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑽删除元素算法思想：将删除单链表中元素写成函数，函数的参数是结构类型变量的引用，待删除元素的位置，接受待删除元素的变量。在函数中，先定位至待删除元素的位置，将其赋值给接受变量，然后通过改变指针域移除该结点，最后释放该结点的内存空间。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑾遍历单链表算法思想：将遍历单链表写成一个函数，函数的参数是结构类型变量，直接用一个循环来对单链表中的每一个元素进行操作（此处进行输出操作）。经分析，该算法的时间复杂度为 O(n)。

⑿保存单链表到文件中的算法思想：函数的参数是结构体变量L和待保存文件的路径或名称。在函数中，创建一个指向待保存文件的文件指针，通过循环依次将单链表中的数据写入文件中。经分析，该算法的算法复杂度是O(n)。

⒀加载文件到单链表中的算法：函数的参数是结构体变量L的引用和待加载文件的路径。在函数中，创建一个指向待加载文件的文件指针，并根据读写逐个分配单链表L中结点的内存空间，最后将尾结点的指针域置为空并释放文件指针。经分析，该算法的算法复杂度是O(n)。

⒁插入一个单链表算法思想：函数的参数是管理表的引用和待插入单链表的名称。在函数中，先在已存在的管理表中的末尾处开辟新的单链表的存储空间，并将管理表长度增加1.经分析，该算法的时间复杂度是O(1)。

⒂删除一个单链表算法思想：函数的参数是管理表的引用和待删除单链表的名称。在函数中，通过循环比较单链表名称和待删除单链表的名称，如果没有找到则返回ERROR，否则就先摧毁待删除单链表，然后自该位置起从前往后将下一个单链表复制到前一个单链表中。经分析，该算法复杂度是O（n2）。

⒃定位一个单链表算法思想：函数参数是管理表Lists和待查找的单链表名称。在函数中，通过循环比较待查找单链表名称和管理表中单链表的名称，如果匹配成功则返回该单链表位序，否则返回ERROR。经分析，该算法复杂度是O(n)。

## 2.4 系统测试

输入样例解释：第一个数字为测试序号，代表该测试序号所调用的函数；然后是需要输入的数据。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 函数 | 输入 | 预期输出 | 实际输出 |
| DestroyList销毁单链表 | 2 | 单链表未创建，无需销毁 |  |
| ClearList清空单链表 | 3 | 单链表未创建，单链表清除失败 |  |
| ListLength求表长 | 5 | 单链表未创建 |  |
|  | 1 | 单链表创建成功 |  |
| InitList创建单链表 | 1 | 单链表已创建 |  |
| ListEmpty判空 | 4 | 单链表为空表 |  |
| ListLength求表长 | 5 | 单链表的长度为0 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 3 1 | 插入元素成功，当前单链表的长度为1 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 5 2 | 插入元素成功，当前单链表的长度为2 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 7 4 | 元素位置不合法 |  |
| ListInsert插入元素 | 10 7 3 | 插入元素成功，当前单链表的长度为3 |  |
| ListTraverse遍历单链表 | 12 | 3 5 7 |  |
| ListEmpty判空 | 4 | 单链表不为空表 |  |
| ListLength求表长 | 5 | 单链表的长度为3 |  |
| GetElem获取某位置的元素 | 6 2 | 单链表中第2个元素是5 |  |
| GetElem获取某位置的元素 | 6 4 | 输入位置不合法 |  |
| GetElem获取某位置的元素 | 6 0 | 输入位置不合法 |  |
| LocateElem查找某元素 | 7 5 | 单链表中元素5的位置是2 |  |
| LocateElem查找某元素 | 7 8 | 该元素不在单链表中 |  |
| PriorElem获取直接前驱 | 8 3 | 该元素无直接前驱 |  |
| PriorElem获取直接前驱 | 8 5 | 单链表中元素5的直接前驱元素是3 |  |
| PriorElem获取直接前驱 | 8 9 | 该元素不在单链表中 |  |
| NextElem获取直接后继 | 9 7 | 该元素无直接后继 |  |
| NextElem获取直接后继 | 9 3 | 单链表中元素3的直接后继元素是5 |  |
| NextElem获取直接后继 | 9 4 | 该元素不在单链表中 |  |
| ListDelete删除元素 | 11 0 | 元素位置不合法 |  |
| ListDelete删除元素 | 11 4 | 元素位置不合法 |  |
| ListDelete删除元素 | 11 2 | 删除元素成功，被删除元素为5，当前单链表的长度为1 |  |
| ListInsert插入元素 | 依次调用插入函数使单链表结点的数据域依次为3 5 7 11 13 17 19 23等8个元素，过程截图略 | | | |
| ListTraverse遍历单链表 | 12 | 3 5 7 11 13 17 19 23 |  |
| SaveList保存文件 | 13 LinkList | 文件成功保存至LinkList |  |
| DestroyList销毁单链表 | 2 | 单链表销毁成功 |  |
| ListTraverse遍历单链表 | 12 | 单链表未创建 |  |
| LoadList加载文件 | 14 LinkList | 文件成功加载至当前单链表 |  |
| ListTraverse遍历单链表 | 12 | 3 5 7 11 13 17 19 23 |  |
| AddList添加单链表 | 15 0  d:\\lists.txt | Lihua 98 83 96 67 88 Liming 99 34 13 236 46 68 Ligang 87 57 378 29 68 42 35 98  Lixiao 34 56 67 78 89 90 12 34 23 45 |  |
| RemoveList移除单链表 | 16 Liming | Lihua 98 83 96 67 88 Ligang 87 57 378 29 68 42 35 98  Lixiao 34 56 67 78 89 90 12 34 23 45 |  |
| RemoveList移除单链表 | 16 Lihong | 删除单链表失败 |  |
| LocateList查找单链表 | 17 Liming | 该单链表不在此管理表中 |  |
| LocateList查找单链表 | 17 Ligang | Ligang 87 57 378 29 68 42 35 98 |  |
| ListTraverse遍历单链表 | 12 | 87 57 378 29 68 42 35 98 |  |
| 退出系统 | 0 |  |  |

## 2.5 实验小结

在实验中，我遇到了如下几个错误：

（1）在写各个函数的代码中，总是因为混淆L和L->next而导致程序总是出现千奇百怪的输出结果，后来重新看了一遍关于单链表的结点的有关知识才避免了各种错误，这告诉我，在处理一种数据结构之前先要了解其逻辑结构。

（2）在编写程序时，我有几次都忘记了要释放链表中不需要的结点或者文件指针。这与上次实验中我犯的错误有相似之处，我会吸取教训，不再给代码埋下这种隐患。

# 3 基于二叉链表的二叉树实现

## 3.1 问题描述

该实验要解决的基本问题是实现二叉链表的各个基本功能，如创建、销毁、清空、判空二叉树，求二叉树深度，查找结点，结点赋值，获得兄弟结点，插入和删除结点，前中后序遍历及其非递归算法，按层遍历等。

其中，在主程序中完成函数调用所需实参值的准备和函数执行结果的显示。可选择以文件的形式进行存储和加载，也即将生成的二叉链表存入到相应的文件中，也可以从文件中获取二叉链表进行操作。同时也实现了多树管理。

### 3.1.1需实现的基本运算

依据最小完备性和常用性相结合的原则，以函数形式定义了二叉树的创建二叉树、销毁二叉树、清空二叉树、判定空二叉树和求二叉树深度等22种基本运算。同时又添加了求结点个数，获得父结点，获取从叶子结点到根结点的路径等功能。具体运算功能定义和说明如下。

⑴创建二叉树：函数名称是CreateBiTree(T,definition)；初始条件是definition 给出二叉树T的定义，如带空子树的二叉树前序遍历序列、或前序+中序、或后序+中序；操作结果是按definition构造二叉树T。

**注：**①要求T中各结点关键字具有唯一性。后面各操作的实现，也都要满足一棵二叉树中关键字的唯一性，不再赘述；②CreateBiTree中根据definition生成T，不应在CreateBiTree中输入二叉树的定义。

⑵销毁二叉树：函数名称是DestroyBiTree(T)；初始条件是二叉树T已存在；操作结果是销毁二叉树T。

⑶清空二叉树：函数名称是ClearBiTree (T)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是将二叉树T清空。

⑷判定空二叉树：函数名称是BiTreeEmpty(T)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是若T为空二叉树则返回TRUE，否则返回FALSE。

⑸求二叉树深度：函数名称是BiTreeDepth(T)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是返回T的深度。

⑹查找结点：函数名称是LocateNode(T,e)；初始条件是二叉树T已存在，e是和T中结点关键字类型相同的给定值；操作结果是返回查找到的结点指针，如无关键字为e的结点，返回NULL。

⑺结点赋值：函数名称是Assign(T,e,value)；初始条件是二叉树T已存在，e是和T中结点关键字类型相同的给定值；操作结果是关键字为e的结点赋值为value。

⑻获得兄弟结点：函数名称是GetSibling(T,e)；初始条件是二叉树T存在，e是和T中结点关键字类型相同的给定值；操作结果是返回关键字为e的结点的（左或右）兄弟结点指针。若关键字为e的结点无兄弟，则返回NULL。

⑼插入结点：函数名称是InsertNode(T,e,LR,c)；初始条件是二叉树T存在，e是和T中结点关键字类型相同的给定值，LR为0或1，c是待插入结点；操作结果是根据LR为0或者1，插入结点c到T中，作为关键字为e的结点的左或右孩子结点，结点e的原有左子树或右子树则为结点c的右子树。

特殊情况，c插入作为根结点？可以考虑LR为-1时，作为根结点插入，原根结点作为c的右子树。

⑽删除结点：函数名称是DeleteNode(T,e)；初始条件是二叉树T存在，e是和T中结点关键字类型相同的给定值。操作结果是删除T中关键字为e的结点；同时，如果关键字为e的结点度为0，删除即可；如关键字为e的结点度为1，用关键字为e的结点孩子代替被删除的e位置；如关键字为e的结点度为2，用e的左孩子代替被删除的e位置，e的右子树作为e的左子树中最右结点的右子树。

⑾前序遍历：函数名称是PreOrderTraverse(T,Visit())；初始条件是二叉树T存在，Visit是一个函数指针的形参（可使用该函数对结点操作）；操作结果：先序遍历，对每个结点调用函数Visit一次且一次，一旦调用失败，则操作失败。

**注：**前序、中序和后序三种遍历算法，要求至少一个用非递归算法实现。

⑿中序遍历：函数名称是InOrderTraverse(T,Visit())；初始条件是二叉树T存在，Visit是一个函数指针的形参（可使用该函数对结点操作）；操作结果是中序遍历t，对每个结点调用函数Visit一次且一次，一旦调用失败，则操作失败。

⒀后序遍历：函数名称是PostOrderTraverse(T,Visit())；初始条件是二叉树T存在，Visit是一个函数指针的形参（可使用该函数对结点操作）；操作结果是后序遍历t，对每个结点调用函数Visit一次且一次，一旦调用失败，则操作失败。

⒁按层遍历：函数名称是LevelOrderTraverse(T,Visit())；初始条件是二叉树T存在，Visit是对结点操作的应用函数；操作结果是层序遍历t，对每个结点调用函数Visit一次且一次，一旦调用失败，则操作失败。

⒂保存文件：函数名称是LevelOrderTraverse(T,FileName)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是将二叉树结点按definition对二叉树的定义保存至文件名为FileName的文件中。

⒃加载文件：函数名称是LevelOrderTraverse(T,FileName)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是将文件名为FileName的文件加载到二叉链表中。

⒄求结点个数：函数名称是CountNode (T)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是得到二叉树中结点的数目。

⒅获得父结点：函数名称是GetParent (T,e)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是找到关键字为e的结点并获得其父结点，否则返回NULL。

⒆插入一个树：函数名称是AddTree(Trees, TreeName);初始条件是多树管理表Trees存在；操作结果是在该管理表中插入一个二叉树。

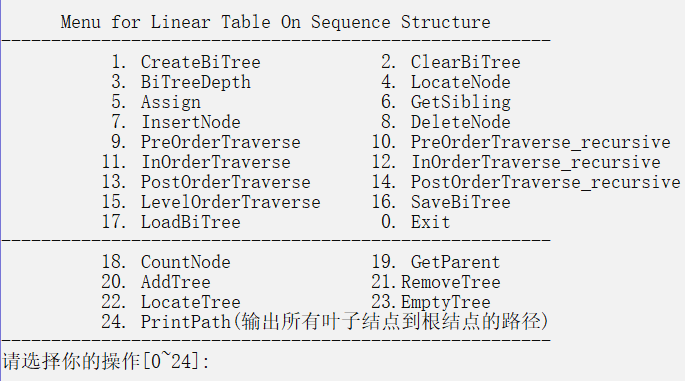
⒇删除一个树：函数名称是RemoveTree(Trees,TreeName); 初始条件是多树管理表Trees存在；操作结果是在该管理表中删除和TreeName相同名称的二叉树，若没有匹配的树返回ERROR。

（21）查找一个树：函数名称是LocateTree(Trees,TreeName); 初始条件是多树管理表Trees存在；操作结果是在该管理表中查找和TreeName相同名称的二叉树并定位至该树对其进行操作，若没有匹配的树返回ERROR。

（22）获得叶子结点到根结点的路径：函数名称是PrintPath (T,path,pathlen)；初始条件是二叉树T存在；操作结果是输出每个叶子结点到根结点的路径。

## 3.2 系统设计

本次实验的系统设计如下：将菜单演示和用户选择写入到while循环中，用OP获取用户的选择，OP初始化为1,以便第一次能进入循环。进入循环后系统首先显示功能菜单，然后用户输入选择0-24,其中1-24分别代表对二叉链表的一个基本运算，在主函数中通过switch语句对应到相应的函数功能，执行完该功能后break跳出switch语句，继续执行while循环，直至用户输入0退出当前演示系统。 (演示系统结构如图3-1所示)



**图3-1 演示系统结构图**

本次实验使用的数据结构定义为：

#define TRUE 1

#define FALSE 0

#define OK 1

#define ERROR 0

#define INFEASIBLE -1

#define OVERFLOW -2

typedef int status;

typedef int KeyType;

typedef struct{

KeyType key;

char others[20];

}TElemType; //二叉树结点类型定义

TElemType definition[100];

typedef struct BiTNode{ //二叉链表结点的定义

TElemType data;

struct BiTNode \*lchild,\*rchild;

}BiTNode,\*BiTree;

typedef struct{ //二叉链表的管理表定义

struct { char name[30];

BiTree T;

}elem[10];

int length;

}LISTS;

## 3.3 系统实现

二叉链表运算算法思想与设计如下：

⑴创建二叉链表思想：将利用前序带空输入方式创建二叉链表过程写成函数，其中传入函数的参数是主函数中定义的结构型变量T的引用。在函数中，先判断是否有关键字冲突的情形，如果有返回ERROR；若关键字不冲突，则判断结点是否为空，若不为空则赋值并递归创建左右子树，若为空则将结点指针赋为空。经分析，算法的时间复杂度为O(n2)。

⑵清空二叉链表思想：将清空二叉链表的过程写成函数，其中传入函数的参数是主函数中定义的结构性变量T的引用。在函数中，首先判断树是否为空，如果为空则无需清空，如果不为空那么递归清空根结点的左右子树。最后释放根结点，并将T置为空。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑶求二叉链表深度的思想：将求深度过程写成函数，其中主函数中定义的结构性变量T作为函数的参数。在函数中，先判断树是否为空，为空则返回深度0，若不为空，递归计算左右子树的深度，最后取左右子树深度的最大值加1为二叉树的深度。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑷查找元素的算法思想：将查找二叉链表元素写成函数，其中函数的参数是结构型变量T以及待查找结点的关键字e。在函数中若树不为空则递归查找结点及其左右子树，如果查找成功就返回查找到的结点的指针，否则返回NULL。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑸给某个结点赋值的算法思想：将给树中的某个结点赋值的操作写成函数，其中函数的参数是主函数中定义的结构类型变量T的引用，待查找的结点的关键字e以及赋值数据项value。通过递归算法查找待赋值的关键字同时判断赋值后的关键字是否与树中的关键字冲突，查找成功则进行赋值，否则返回ERROR。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑹获得兄弟结点算法思想：将获得兄弟结点的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量T以及待查找其兄弟结点的结点的关键字。在函数中，首先判断二叉链表是否为空，若不为空则判断当前结点是否有左右孩子及左右孩子是否为待查找结点，若是则返回兄弟结点，若不是则递归进行查找，若查找失败则返回NULL。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑺插入一个结点算法思想：将插入一个结点的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量T的引用，待插入位置的结点的关键字，插入方式LR，待插入结点的数据。在函数中，首先判断树是否为空，若不为空则先创建待插入的结点，找到待插入位置的结点，判断待插入结点的关键字是否与原有树中的结点的关键字是否冲突，如果未找到结点或者关键字冲突则返回INFEASIBLE或ERROR，否则根据LR的不同分别做插入操作。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑻删除结点算法思想：将删除结点写成函数，函数的参数是结构型变量T的引用，待删除结点的关键字。在函数中，首先树是否为空，若不为空则先获得关键字为e的结点及其父结点，并计算待删除结点的度。若度为0，则直接将父结点的对应孩子置为空并释放被删除结点，若度为1，则判断被删除结点是父结点的左孩子还是右孩子并分别做删除操作，若度为2，则将父结点的对应孩子置为待删除结点的左孩子，并通过循环操作找到待删除结点的左子树的最右结点，并将右子树连接至此。其中，每种情况均需要对待删除结点是根结点的情况进行特判。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑼前序遍历算法思想：将对二叉树的前序遍历过程写成函数，函数的参数是结构类型变量T，遍历二叉树结点的visit函数的指针。对于递归算法，在函数中，首先判断树是否为空，若不为空则通过访问根结点，遍历左子树，遍历右子树的过程实现递归遍历。对于非递归算法，则利用栈的存储结构，依次将根结点，左子树，右子树入栈并出栈的循环操作实现遍历。经分析，递归与非递归算法的时间复杂度均为O(n)。

⑽中序遍历算法思想：将对二叉树的中序遍历过程写成函数，函数的参数是结构类型变量T，遍历二叉树结点的visit函数的指针。对于递归算法，在函数中，首先判断树是否为空，若不为空则通过遍历左子树，访问根结点，遍历右子树的过程实现递归遍历。对于非递归算法，则利用栈的存储结构，通过将结点按顺序入栈并出栈的操作实现遍历。经分析，递归与非递归算法的时间复杂度均为O(n)。

⑾后序遍历算法思想：将对二叉树的后序遍历过程写成函数，函数的参数是结构类型变量T，遍历二叉树结点的visit函数的指针。对于递归算法，在函数中，首先判断树是否为空，若不为空则通过访问根结点，遍历左子树，遍历右子树的过程实现递归遍历。对于非递归算法，则利用栈的存储结构，通过将结点按顺序入栈并出栈的操作实现遍历。其中，后序遍历比前两种遍历的非递归实现都要复杂。原因是，我们访问完左结点后，弹栈时并不能立即访问根结点的值，因为遍历顺序为：左->右->根，在访问根结点之前，我们还要确定根结点的右子树是否已经被访问过。因此可以利用flag来判断此结点是从左孩子结点还是右孩子结点来的。经分析，递归与非递归算法的时间复杂度均为O(n)。

⑿按层遍历算法思想：将对二叉树的按层遍历过程写成函数，函数的参数是结构类型变量T，遍历二叉树结点的visit函数的指针。在函数中，利用循环队列的数据结构来实现遍历。首先将根结点入队，接着通过判断队列是否为空来控制循环，在循环中，先将队首结点出队并访问，同时将其左右孩子依次入队。经分析，该算法的时间复杂度均为O(n)。

⒀保存文件算法思想：函数的参数是结构类型变量T和待保存文件的名称。在函数中，利用前序遍历的非递归算法过程依次将各个结点通过带空前序遍历序列的方式输出到文件FileName中。经分析，该算法的时间复杂度是O(n)。

⒁加载文件到二叉链表算法思想：函数的参数是结构类型变量T和待加载文件的名称。在函数中，先将文件读入到definition数组中，接着利用该数据定义创建二叉树。经分析，该算法的时间复杂度是O(n2)。

⒂添加一个二叉树的算法思想：函数参数是管理表Trees和待添加的二叉链表名称。在函数中，通过与创建二叉树类似的过程在Trees中添加一个二叉树。经分析，该算法复杂度是O(n2)。

⒃删除一个二叉树的算法思想：函数参数是管理表Trees的引用和待删除的二叉链表名称。在函数中，通过循环比较名称查找到待删除的二叉树，利用清空函数清空树，并利用循环从后至前覆盖被删除的二叉树。经分析，该算法复杂度是O(n2)。

⒄判空二叉链表的思想：将判空二叉链表的过程写成函数，其中将主函数中定义的结构性变量T的引用作为函数参数。在函数中，如果T==NULL则表明树为空返回OK，否则返回ERROR。经分析，该算法的时间复杂度为O(1)。

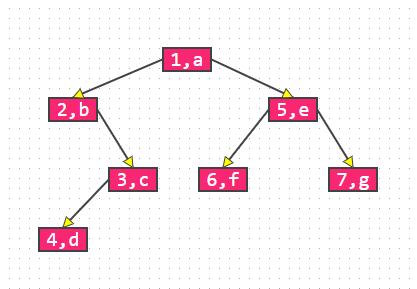
⒅查找一个二叉树的算法思想：函数参数是管理表Trees和待查找的二叉链表名称。在函数中，通过循环比较名称查找到待删除的二叉树，并定位至该树，返回该树的位置，若未找到则返回ERROR。经分析，该算法复杂度是O(n)。

⒆计算结点数目的算法思想：函数参数是结构体变量T。在函数中，通过递归遍历左右子树将存放结点数目的变量依次增加，最终得到结点数目。经分析，该算法复杂度是O(n)。

⒇获得父结点的算法思想：将获得父结点的过程写成函数，函数的参数是结构体类型变量T以及待查找其父结点的结点的关键字。在函数中，首先判断二叉链表是否为空，若不为空则判断当前结点是否有左右孩子及左右孩子是否为待查找结点，若是则返回该结点，若不是则递归进行查找，若查找失败则返回NULL。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

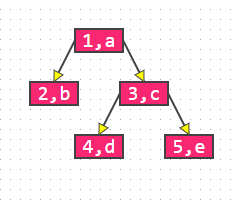
## 3.4 系统测试

说明：输入样例解释：第一个数字为测试序号，代表该测试序号所调用的函数；然后是需要输入的数据。该全局测试所用的二叉树如图3-2和3-3



**图3-2 用到的二叉树1**

输入的前序带空序列为：1 a 2 b 0 null 3 c 4 d 0 null 0 null 0 null 5 e 6 f 0 null 0 null 7 g 0 null 0 null -1 null



**图3-3 用到的二叉树2**

输入的前序带空序列为： 1 a 2 b 0 null 0 null 3 c 4 d 0 null 0 null 5 e 0 null 0 null -1 null

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 调用函数 | 输入 | 预期输出 | 实际输出 |
| ClearBiTree清空二叉树 | 2 | 无需清空 |  |
| CreateBiTree创建二叉链表（该树为二叉树1） | 1 “二叉树1的输入序列” | 二叉链表创建成功 |  |
| BiTreeDepth求深度 | 3 | 二叉树的深度为4 |  |
| PreOrderTraverse前序遍历 | 9 | 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,g |  |
| InOrderTraverse中序遍历 | 11 | 2,b 4,d 3,c 1,a 6,f 5,e 7,g |  |
| PostOrderTraverse后序非递归算法遍历 | 14 | 4,d 3,c 2,b 6,f 7,g 5,e 1,a |  |
| LevelOrderTraverse按层遍历 | 15 | 1,a 2,b 5,e 3,c 6,f 7,g 4,d |  |
| CountNode求结点数目 | 18 | 二叉树中结点个数为7 |  |
| EmptyTree判空树 | 23 | 二叉树不为空 |  |
| LocateNode查找结点 | 4 5 | 该结点为5,e |  |
| LocateNode查找结点 | 4 8 | 查找失败，二叉链表中无此结点 |  |
| GetSibling查找兄弟结点 | 6 1 | 无兄弟结点 |  |
| GetSibling查找兄弟结点 | 6 2 | 兄弟结点为5,e |  |
| GetSibling查找兄弟结点 | 6 8 | 二叉链表中无待查找结点 |  |
| GetParent查找父结点 | 19 1 | 二叉链表中无待查找结点或查找结点为根结点 |  |
| GetParent查找父结点 | 19 234 | 二叉链表中无待查找结点或查找结点为根结点 |  |
| GetParent查找父结点 | 19 7 | 5,e |  |
| Assign赋值 | 5 10 10 new | 赋值失败，二叉链表中无待查找结点 |  |
| Assign赋值 | 5 3 2 new | 赋值失败，待赋值的结点关键字与当前二叉树中 的结点关键字冲突 |  |
| Assign赋值 | 5 7 7 new | 赋值成功 |  |
| PreOrderTraverse前序遍历 | 9 | 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,new |  |
| InsertNode插入结点 | 7 8 0 8 old | 插入失败,无待查找结点 |  |
| InsertNode插入结点 | 7 2 0 7 old | 插入失败,待插入结点与二叉链 表中结点关键字冲突 |  |
| InsertNode插入结点 | 7 2 -1 8 root | 插入成功 |  |
| InsertNode插入结点 | 7 3 1 9 h | 插入成功 |  |
| PreOrderTraverse前序遍历 | 9 | 8,root 1,a 2,b 3,c 4,d 9,h 5,e 6,f 7,new |  |
| DeleteNode删除结点 | 8 8 | 成功删除结点 |  |
| DeleteNode删除结点 | 8 10 | 该二叉链表中无该结点 |  |
| DeleteNode删除结点 | 8 9 | 成功删除结点 |  |
| PreOrderTraverse | 9 | 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,new |  |
| SaveBiTree保存文件 | 16 test | 成功保存至文件test |  |
| ClearBiTree清空树 | 2 | 二叉链表清空成功 |  |
| BiTreeDepth求深度 | 3 | 二叉树的深度为0 |  |
| EmptyTree判空树 | 23 | 二叉树为空 |  |
| PreOrderTraverse前序 | 9 | 由于二叉树已经清空，将无输出 |  |
| LoadBiTree加载文件 | 17 test | 成功加载文件test至二叉链表 |  |
| PreOrderTraverse\_recursive | 10 | 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,new |  |
| InOrderTraverse\_recursive | 12 | 2,b 4,d 3,c 1,a 6,f 5,e 7,new |  |
| PrintPath输出所有叶子结点到根结点的路径 | 24 | 4,d 3,c 2,b 1,a  6,f 5,e 1,a  7,new 5,e 1,a |  |
| AddTree添加树 | 20 2  其余输入数据见截图 | xiaohong  1,a 2,b 3,c 4,d 5,e  2,b 1,a 4,d 3,c 5,e  xiaoming  1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,g  2,b 4,d 3,c 1,a 6,f 5,e 7,g |  |
| RemoveTree移除树 | 21 xiaohong | xiaoming 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,g  2,b 4,d 3,c 1,a 6,f 5,e 7,g |  |
| RemoveTree移除树 | 21 xiaogang | 删除二叉链表失败 |  |
| LocateTree查找树 | 22 xiaohong | 该二叉链表不在此管理表中 |  |
| LocateTree查找树 | 22 xiaoming | xiaoming 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,g  2,b 4,d 3,c 1,a 6,f 5,e 7,g |  |
| LevelOrderTraverse | 10 | 1,a 2,b 3,c 4,d 5,e 6,f 7,g |  |
| 退出系统 | 0 |  |  |

## 3.5 实验小结

在实验中，我遇到了如下几个错误：

（1）本次实验中有许多函数都是利用递归实现的，在这个过程中，我因为不清楚递归的过程，而导致返回值时有错误的现象。同时，也因为不清楚如何计算递归方式实现的函数的时间复杂度而浪费了很多时间。

（2）在创建二叉树的函数中，为了实现递归过程中使用definition定义的正确性，我使用到了全局变量i，因此在每次调用该函数时都应该将全局变量i重置，但在需要调用的过程中总是因为忘记重置而导致测试时出现问题。

# 4 基于邻接表的图实现

## 4.1 问题描述

该实验要解决的基本问题是实现邻接表的各个基本功能，如创建表、销毁表、清空表、判空表和获得顶点的位序等等。

其中，在主程序中完成函数调用所需实参值的准备和函数执行结果的显示。可选择以文件的形式进行存储和加载，也即将生成的邻接表保存到相应的文件中，也可以从文件中获取邻接表进行操作。同时，也可以对图的管理表进行添加、删除和查找操作。

### 4.1.1需实现的基本运算

依据最小完备性和常用性相结合的原则，以函数形式定义了邻接表的创建表、销毁表、清空表、判定空表和获得顶点的位序等19种基本运算，具体运算功能定义如下。

⑴创建邻接表：函数名称是CreateCraph (G,V,VR)；初始条件是邻接表G未创建；操作结果是构造一个邻接表。

⑵销毁邻接表：函数名称是DestroyGraph(G)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是销毁邻接表G。

⑶查找邻接表：函数名称是LocateVex(G,e)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是返回关键字为e的顶点的位序。

⑷判空邻接表：函数名称是EmptyGraph(G)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是若G为空表则返回TRUE,否则返回FALSE。

⑸赋值顶点：函数名称是PutVex(G,e, value)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是将关键字为e的顶点的信息赋值为value。

⑹获得第一邻接点：函数名称是FirstAdjVex(G, e)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是返回关键字为e的顶点的第一邻接点的位序。

⑺获得下一邻接点：函数名称是NextAdjVex(G, v,w)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是返回关键字为v的顶点的相对于邻接点w的下一邻接点的位序。

⑻插入顶点：函数名称是InsertVex(G, value)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是在邻接表的顶点数组中插入信息为value的顶点。

⑼删除顶点：函数名称是DeleteVex(G,e)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是删除关键字为e的顶点。

⑽插入边：函数名称是InsertArc(G,v,w)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是插入与关键字为v和w的顶点关联的边。

⑾删除边：函数名称是DeleteArc(G,v,w)；初始条件是邻接表G已创建；操作结果是删除与关键字为v和w的顶点关联的边。

⑿深度优先搜索遍历图：函数名称是DFSTraverse(G,visit())，初始条件是邻接表G已创建；操作结果是通过DFS算法依次对G的每个表头顶点调用函数visit()。

⒀广度优先搜索遍历图：函数名称是BFSTraverse(G,visit())，初始条件是邻接表G已创建；操作结果是通过BFS算法依次对G的每个表头顶点调用函数visit()。

⒁保存邻接表：函数名称是SaveGraph(G, FileName)，初始条件是邻接表G已创建；操作结果是将邻接表保存到名为FileName的文件中。

⒂加载邻接表：函数名称是LoadGraph(G, FileName)，初始条件是邻接表G未创建；操作结果是将名为FileName的文件加载到邻接表中。

⒃在管理表中添加一个图：函数名称是AddGraph(Graphs, FileName)；初始条件是多邻接表非空；操作结果是将文件名为FileName的邻接表添加到管理表中。

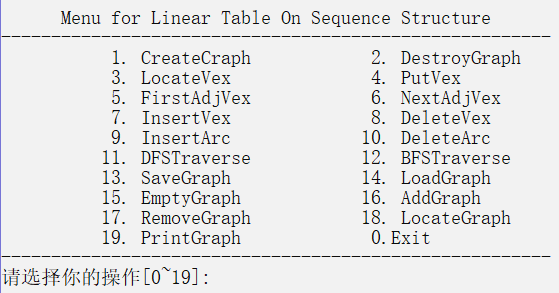
⒄在管理表中删除一个图：函数名称是RemoveGraph(Graphs, FileName)；初始条件是多邻接表非空；操作结果是将文件名为FileName的邻接表删除。

⒅在管理表中查找一个图：函数名称是LocateGraph(Graphs, FileName)；初始条件是多邻接表非空；操作结果是查找文件名为FileName的邻接表并定位以可对其进行操作。

⒆打印邻接表：函数名称是PrintGraph(G)；初始条件是邻接表已创建；操作结果是打印邻接表的表头顶点数组及对应的邻接链表。

## 4.2 系统设计

本次实验的系统设计如下：将菜单演示和用户选择写入到while循环中，用OP获取用户的选择，OP初始化为1,以便第一次能进入循环。进入循环后系统首先显示功能菜单，然后用户输入选择0-19,其中1-19分别代表对二叉链表的一个基本运算，在主函数中通过switch语句对应到相应的函数功能，执行完该功能后break跳出switch语句，继续执行while循环，直至用户输入0退出当前演示系统。 (演示系统结构如图4-1所示)



**图4-1 功能演示系统结构图**

本次实验用到的数据结构定义为：

#define TRUE 1

#define FALSE 0

#define OK 1

#define ERROR 0

#define INFEASIBLE -1

#define OVERFLOW -2

#define MAX\_VERTEX\_NUM 20

typedef int status;

typedef int KeyType;

typedef enum {DG,DN,UDG,UDN} GraphKind;

typedef struct {

KeyType key;

char others[20];

} VertexType; //顶点数据类型定义

typedef struct ArcNode { //表结点类型定义

int adjvex; //顶点位置编号

struct ArcNode \*nextarc; //下一个表结点指针

} ArcNode;

typedef struct VNode{ //头结点及其数组类型定义

VertexType data; //顶点信息

ArcNode \*firstarc; //指向第一条边

} VNode,AdjList[MAX\_VERTEX\_NUM];

typedef struct { //邻接表的类型定义

AdjList vertices; //头结点数组

int vexnum,arcnum; //顶点数、边数

GraphKind kind; //图的类型

} ALGraph;

typedef struct{ //邻接表的管理表定义

struct { char name[30];

ALGraph G;

}elem[10];

int length;

}LISTS;

## 4.3 系统实现

本次实验函数的算法思想及设计如下：

⑴创建邻接表：函数的参数是邻接表G的引用，顶点数组V，存储边的信息的二维数组VR。在函数中先判断顶点关键字是否唯一，然后将顶点读入头结点数组中，并采用头插法依次插入边，同时要修改边数和顶点数。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⑵销毁邻接表：函数的参数是图G的引用。在函数中，先判断图是否创建，如未创建则通过循环依次邻接链表中的结点，并将firstarc结点置为空。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⑶查找邻接表：函数的参数是图G，待查找关键字u。在函数中，通过循环比较关键字查找待查找结点，如未找到返回-1。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑷判空邻接表：函数参数是图G的引用。在函数中，判断arcnum是否为0，如果为0，则返回OK代表图为空。经分析，该算法的时间复杂度是O(1)。

⑸赋值顶点：函数的参数是图G的引用，被赋值的结点的关键字u，待赋值的结点的信息value。在函数中，先查找关键字为u的结点是否在图中，如不在返回ERROR；然后查找value.key是否在图中并且是否与u相等，如果在图中且不与u相等返回ERROR；其余情况下，直接赋值。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑹获得第一邻接点：函数参数是图G，待查找第一邻接结点的结点的关键字u。在函数中，先判断关键字为u的结点是否在图中，如果不在返回INFEASIBLE，否则判断firstarc是否为空，不为空则返回其存储的第一邻接点信息。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑺获得下一邻接点：函数参数是图G，待查找下一邻接结点的结点的关键字v，相对的邻接点的关键字w。在函数中，先判断关键字为v和w的结点是否在图中，如果不在返回INFEASIBLE，否则通过循环查找关键字为w的邻接链表结点，如果其下一邻接点不为空则返回下一邻接点关键字，否则返回-1。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑻插入顶点：函数参数是图G的引用，被插入顶点的信息value。在函数中，先判断关键字为value.key的结点是否在图中，如果在返回ERROR，否则在表头顶点数组中插入顶点并修改vexnum信息。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑼删除顶点：函数参数是图G的引用，待删除顶点的关键字v。在函数中，先判断关键字为v的结点是否在图中，如果不在返回ERROR，否则清空找到的表头结点的邻接链表，覆盖被删除的表头结点并修改vexnum信息，删除与被删除的表头结点相关的边并更新结点的位序。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⑽插入边：函数参数是图G，待插入边的两端的关键字v和w。在函数中，先判断关键字为v或w的结点是否在图中，如果不在返回ERROR，否则先判断该边是否已经在图中，如果不在则插入边。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑾删除边：函数参数是图G，待删除边的两端的关键字v和w。在函数中，先判断关键字为v或w的结点是否在图中，如果不在返回ERROR，否则删除相关联顶点的邻接链表中与此边相关的结点（如果此边不在图中则不会删除而返回INFEASIBLE）。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⑿深度优先搜索遍历图：函数参数是图G，访问函数的指针visit。在函数中，先将visited数组初始化为0，代表未访问；然后从某个顶点v出发，首先访问该顶点，然后利用DFS核心函数依次从它的各个未被访问的邻接点出发深度优先搜索遍历图，直至图中所有和v有路径相通的顶点都被访问到。若此时尚有其他顶点未被访问到，则另选一个未被访问的顶点作起始点，重复上述过程，直至图中所有顶点都被访问到为止。经分析，该算法的时间复杂度为O(n+e)。

⒀广度优先搜索遍历图：函数参数是图G，访问函数的指针visit。在函数中，利用循环队列的数组实现方法进行遍历；首先将visited数组初始化为0，代表未访问；然后将第一个访问的结点v入队；然后通过判断队列是否为空控制循环，在循环中，先将队首出队，并将与该顶点相连的顶点入队，最后通过一次次的循环使得图中所有和v有路径相通的顶点都被访问到。若此时尚有其他顶点未被访问到，则另选一个未被访问的顶点作起始点，重复上述过程，直至图中所有顶点都被访问到为止。经分析，该算法的时间复杂度为O(n+e)。

⒁保存邻接表：函数参数是图G，待保存文件的路径名称。在函数中，先将表头顶点数组写入文件中，然后，通过循环一次将边写入到文件中。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⒂加载邻接表：函数参数是图G，待加载文件的路径名称。在函数中，先将数据读到存放顶点和边的数组V和VR中，然后调用CreateGraph函数创建图。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⒃在管理表中添加一个图：函数的参数是邻接表的管理表Graphs的引用，待添加邻接表的名称FileName。在函数中，首先在管理表的末端添加一个名称为FileName的图，然后将数据读到存放顶点和边的数组V和VR中，调用CreateGraph函数创建图。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⒄在管理表中删除一个图：函数的参数是邻接表的管理表Graphs的引用，待删除邻接表的名称FileName。在函数中，通过循环比较名称查找待删除的图，查找成功则先销毁图，并从前至后移动管理表中的图。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

⒅在管理表中查找一个图：函数的参数是邻接表的管理表Graphs的引用，待查找邻接表的名称FileName。在函数中，通过循环比较名称查找待查找的图，查找成功则定位至该图并返回其位序。经分析，该算法的时间复杂度为O(n)。

⒆打印邻接表：函数的参数是邻接表的引用G。在函数中，先判断vexnum是否为0，若为0则说明为空图，否则依次打印顶点数组的位序，顶点数组信息，顶点数组的邻接链表。经分析，该算法的时间复杂度为O(n2)。

## 4.4 系统测试

输入样例解释：第一个数字为测试序号，代表该测试序号所调用的函数；然后是需要输入的数据。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 函数 | 输入 | 预期输出 | 实际输出 |
| DestroyGraph销毁邻接表 | 2 | 邻接表未创建，无需销毁 |  |
| EmptyGraph判空 | 15 | 邻接表未创建 |  |
| DFSTraverse深度优先搜索遍历 | 11 | 邻接表未创建 |  |
| CreateCraph创建图 | 1 5 线性表 8 集合 7 二叉树 6 无向图 -1 nil 5 6 5 7 6 7 7 8 -1 -1 | 邻接表创建成功 |  |
| CreateCraph创建图 | 1 | 邻接表已创建 |  |
| EmptyGraph判空 | 15 | 图不为空 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| LocateVex查找顶点 | 3 5 | 查找顶点信息为 5 线性表 |  |
| LocateVex查找顶点 | 3 9 | 图中无此顶点 |  |
| LocateVex查找顶点 | 3 6 | 查找顶点信息为 6 无向图 |  |
| PutVex给顶点赋值 | 4 9 9 new | 查找失败，邻接表中无此顶点 |  |
| PutVex给顶点赋值 | 4 8 5 new | 赋值失败，待赋值的顶点关键字与当前图中的顶点关键字冲突 |  |
| PutVex给顶点赋值 | 4 5 5 单链表 | 赋值成功 |  |
| LocateVex查找顶点 | 3 5 | 查找顶点信息为 5 单链表 |  |
| FirstAdjVex第一邻接点 | 5 9 | 查找失败，邻接表中无此顶点 |  |
| FirstAdjVex第一邻接点 | 5 7 | 第一邻接点的信息为 8 集合 |  |
| NextAdjVex下一邻接点 | 6 9 7 | 输入信息有误 ，邻接表中不存在输入的顶点 |  |
| NextAdjVex下一邻接点 | 6 5 6 | 相对于该邻接点没有下一邻接点 |  |
| NextAdjVex下一邻接点 | 6 7 8 | 第一邻接点的信息为 6 无向图 |  |
| InsertVex插入顶点 | 7 6 欧拉图 | 插入失败,关键字冲突 |  |
| InsertVex插入顶点 | 7 9 哈密顿图 | 插入成功 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| DeleteVex删除顶点 | 8 4 | 删除失败，邻接表中无待删除顶点 |  |
| DeleteVex删除顶点 | 8 6 | 成功删除顶点 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| InsertArc插入边 | 9 7 8 | 该边已存在 |  |
| InsertArc插入边 | 9 6 7 | 邻接表中不存在其中某顶点 |  |
| InsertArc插入边 | 9 5 9 | 插入成功 |  |
| InsertArc插入边 | 9 7 9 | 插入成功 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| DeleteArc删除边 | 10 5 8 | 该边不存在 |  |
| DeleteArc删除边 | 10 7 6 | 邻接表中不存在其中某顶点 |  |
| DeleteArc删除边 | 10 7 9 | 删除成功 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| DFSTraverse深度优先搜索遍历 | 11 | 5 单链表 9 哈密顿图 7 二叉树 8 集合 |  |
| BFSTraverse广度优先搜索遍历 | 12 | 5 单链表 9 哈密顿图 7 二叉树 8 集合 |  |
| SaveGraph保存文件 | 13 Graph | 成功将邻接表保存至文件Graph |  |
| DestroyGraph销毁图 | 2 | 邻接表销毁成功 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 空图，无需打印！ |  |
| LoadGraph加载文件 | 14 Graph | 成功将文件Graph加载至邻接表 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| DeleteArc删除边 | 10 7 8 | 删除成功 |  |
| FirstAdjVex第一邻接点 | 5 8 | 无第一邻接点 |  |
| AddGraph添加图 | 16 2 其余数据见截图 | 见截图 |  |
| RemoveGraph删除图 | 17 xiaogang | 该邻接表不在管理表中，删除邻接表失败 |  |
| RemoveGraph删除图 | 17 xiaohong | 见截图 |  |
| LocateGraph查找图 | 18 xiaohong | 该邻接表不在此管理表中 |  |
| LocateGraph查找图 | 18 xiaoming | 见截图 |  |
| PrintGraph打印邻接表 | 19 | 见截图 |  |
| 退出系统 | 0 |  |  |

## 4.5 实验小结

在实验中，我遇到了如下几个错误：

（1）本次实验中有许多函数的边界情况很多，最突出的比如插入删除弧和顶点。在写这几个函数的过程中，我常常会因为没有进行特判而无法通过一些特殊样例。这是我以后写程序的时候需要考虑的健壮性问题。

（2）在书写创建图的函数的过程中，由于未理解头插法是什么意思，以及样例的特殊性让我以为是将结点按照顶点位序插入到链表中，结果导致浪费了很长时间，以后在写程序时，我会注意理解清楚要求再开始写程序。

# 参考文献

[1] 严蔚敏等. 数据结构(C语言版). 清华大学出版社

[2] [Larry Nyhoff](http://www.calvin.edu/~nyhl/index.html). [ADTs, Data Structures, and Problem Solving with C++.](http://vig.prenhall.com/catalog/academic/product/0,1144,0131409093,00.html)Second Edition, [Calvin College](http://cs.calvin.edu/), 2005

[3] 殷立峰. Qt C++跨平台图形界面程序设计基础. 清华大学出版社,2014:192～197

[4] 严蔚敏等.数据结构题集(C语言版). 清华大学出版社