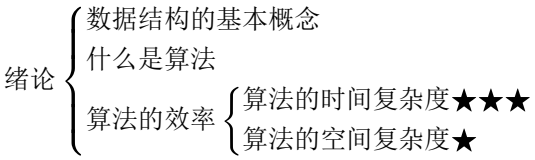
王道408 数据结构

第1章 绪论



1.0 数据结构在学什么

数据结构在学什么

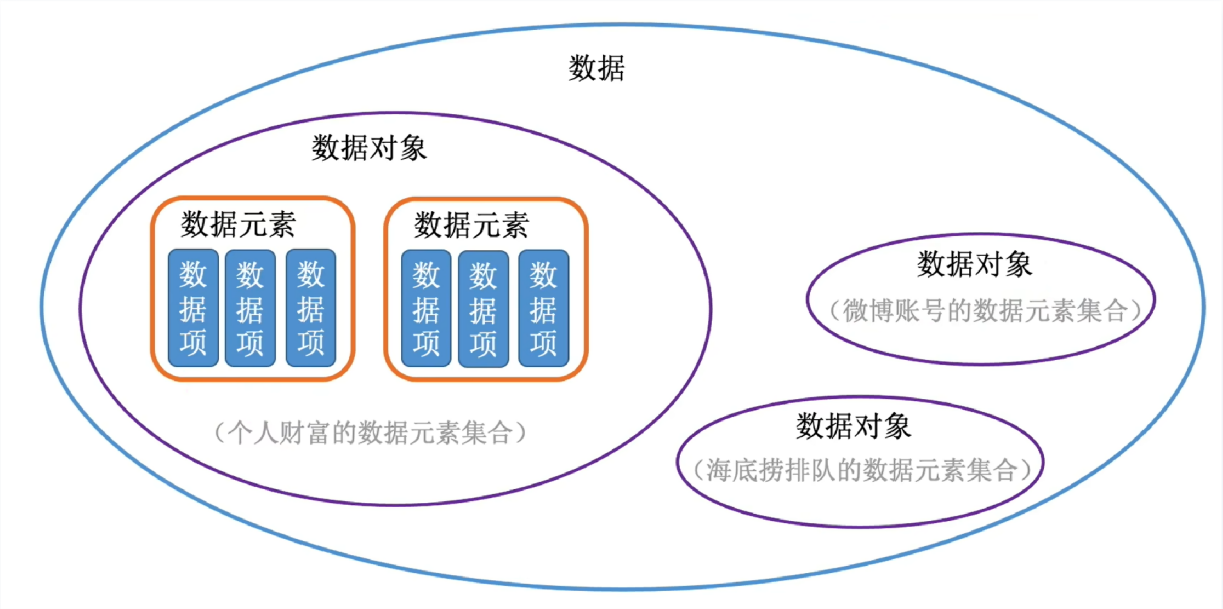
- 学如何用程序代码把现实世界的问题**信息化**
- 学如何用计算机高效地处理这些信息**从而创造价值**

1.1 数据结构的基本概念

1.1.1 数据结构的基本概念

- **数据**
  - 数据是 `信息的载体` ,是描述客观事物属性的数、字符及所有能输入到计算机中并被 `计算机程序识别和处理` 的符号的集合。
  - 数据是计算机程序加工的原料。
- **数据元素**
  - `数据元素` 是数据的基本单位，通常作为一个 `整体` 进行考虑和处理。
- **数据项**

- 一个数据元素可由若干 数据项 组成，数据项是构成数据元素的 不可分割的最小单位 。

- **数据对象**
  - 数据对象是具有 相同性质 的数据元素的集合，是数据的一个子集。
  - 

- **数据结构**
  - 数据结构是相互之间存在一种或多种 特定关系 的数据元素的集合。

> 数据对象VS数据结构
>
> 数据对象更强调相同性质，而数据结构更强调数据元素之间的关系。
>
> - 相同的数据对象，在不同的条件下，可以组成不同的数据结构。
> - 同样的数据元素，可以组成不同的数据结构。
> - 不同的数据元素，可以组成相同的数据结构。

数据结构这门课着重关注的是 数据元素之间的关系 ，和对这些数据元素的 操作 ，而不关心具体的数据项内容。

1.1.2 数据结构的三要素

数据结构的三要素★★★
- 逻辑结构
  - 集合结构
  - 线性结构 → 一对一
  - 树形结构 → 一对多
  - 图状(网状)结构 → 多对多
- 数据的运算 → 对运算的定义
- (物理结构)存储结构
  - 顺序存储
  - 链式存储
  - 索引存储
  - 散列存储

  （链式存储、索引存储、散列存储 → 非顺序存储）

1.1.2.1 逻辑结构

- **逻辑结构**
  - **集合结构**：各个元素同属一个集合，别无其他关系。
  - **线性结构**：数据元素之间是 一对一 的关系。

    - 除了第一个元素，所有元素都有 唯一前驱 ；
    - 除了最后一个元素，所有元素都有 唯一后继 。
- **树形结构**：数据元素之间是 一对多 的关系。
- **图状(网状)结构**：数据元素之间是 多对多 的关系。
-

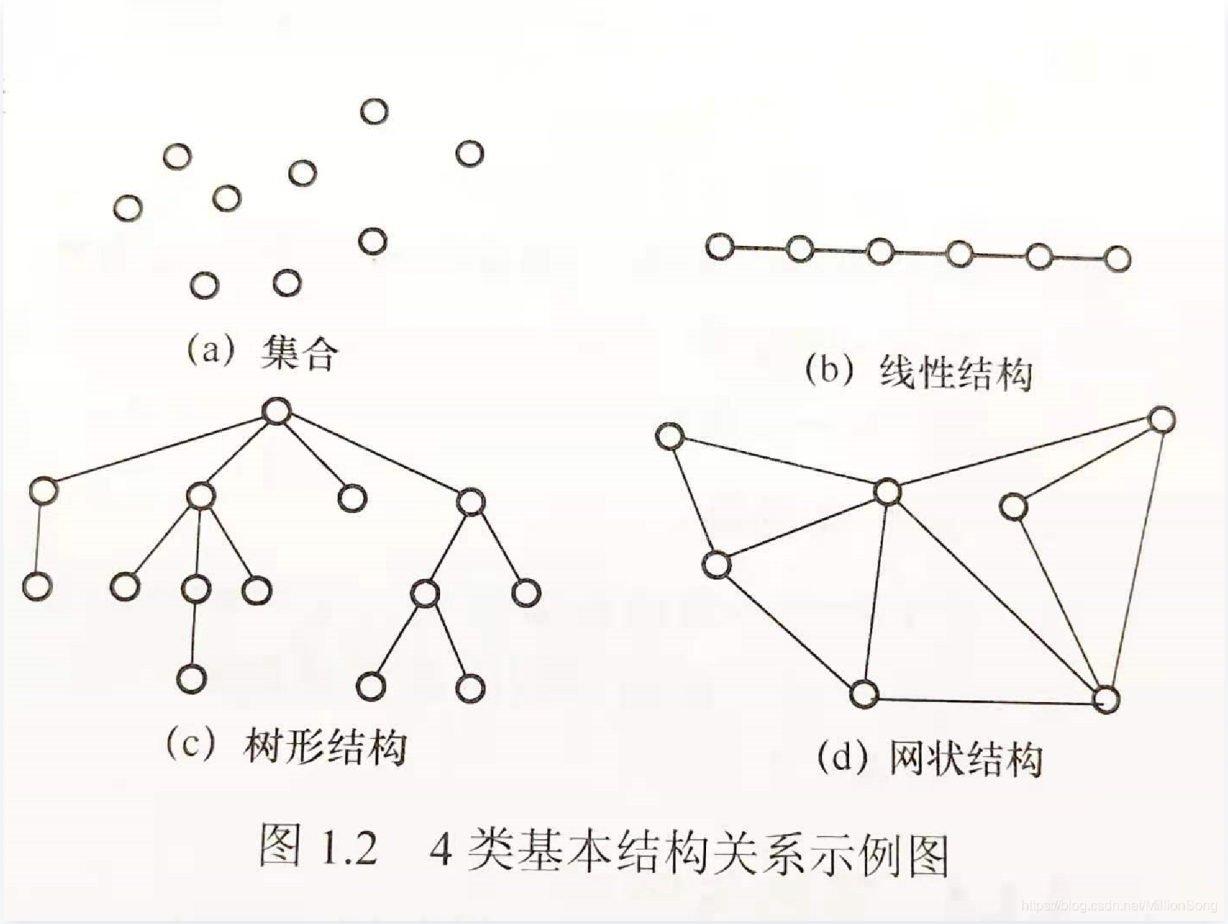


图 1.2　4 类基本结构关系示例图

1.1.2.2 数据的运算

- **数据的运算**：针对于某种逻辑结构，结合实际需求，定义 基本运算
    - 常有的基本运算：增删改查

1.1.2.3 物理结构（存储结构）

- **物理结构（存储结构）**：指数据在计算机内存中的组织形式或存储方式。它描述了数据元素之间的逻辑关系和物理存储关系。
    - **顺序存储**：把 逻辑上相邻的元素 存储在 物理位置上也相邻 的 存储单元中 ，元素之间的关系由 存储单元的邻接关系 来体现。
    - **链式存储**： 逻辑上相邻的元素在物理上可以不相邻 ，借助 指示元素存储地址的指针 来表示元素之间的逻辑关系。
    - **索引存储**：在存储数据元素信息的同时，还 建立附加的索引表 。
        - 索引表中的每项称为 索引项 ，索引项的一般形式是 （关键字，地址） 。
    - **散列存储**：根据元素的 关键字 直接 计算出该元素的存储地址 ，又称 哈希(Hash)存储 。
        - 第六章中会详细讲解散列存储。
- 链式存储、索引存储、散列存储都是 非顺序存储结构 。
- 若采用 顺序存储 ，则各个数据元素在物理上 必须是连续的 ；

- 若采用 非顺序存储 ，则各个数据元素在物理上 可以是离散的 。
- 数据的存储结构会
  - 影响存储空间分配的方便程度
  - 影响对数据运算的速度

1.1.2.4 数据类型、抽象数据类型

- **数据类型**：是一个 值的集合 和 定义在此集合上的一组操作 的总称。
  - **原子类型**：其值 不可再分 的数据类型。
  - **结构类型**：其值 可再分解为若干成分（分量） 的数据类型。
  - **抽象数据类型(Abstract Data Type，ADT)**：是 抽象数据组织 及 与之相关的操作 。

1.2 算法和算法评价

1.2.1 算法的基本概念

1.2.1.1 什么是算法

- **程序 = 数据结构 + 算法**
  - 数据结构： 要处理的信息
  - 算法： 处理信息的步骤
- **算法**的定义：算法是 对特定问题求解步骤的一种描述 ，它是指令的有限序列，其中的每条指令表示一个或多个操作。

1.2.1.2 算法的五个特性

- **算法的特性**
  - **有穷性**：一个算法必须总是在执行有穷步之后结束，且每一步都可在有穷时间内完成。
    - 注 ：算法是 有穷 的，而程序可以是 无穷 的。
  - **确定性**：算法中每条指令必须 有确切的含义 ，对于 相同的输入 只能得出 相同的输出 。
  - **可行性**：算法中描述的操作都可以通过 已经实现的基本运算执行有限次 来实现
  - **输入**：一个算法 有零个或多个输入 ，这些输入 取自于某个特定的对象的集合 。
  - **输出**：一个算法 有一个或多个输出 ，这些输出是 与输入有着某种特定关系的量 。

1.2.1.3 “好”算法的特质

- **“好”算法的特质**
  - **正确性**：算法应能够 正确地解决求解问题 。
  - **可读性**：算法应具有 良好 的可读性，以帮助人们理解。
  - **健壮性**：输入 非法数据 时，算法能 适当地做出反应或进行处理 ，而不会产生莫名其妙的输出结果。
  - **高效率与低存储量需求**:算法效率的度量是通过 时间复杂度 和 空间复杂度 来描述的；
    - 高效率：花的时间少， 时间复杂度低 。
    - 低存储量需求：不费内存， 空间复杂度低 。

1.2.2 算法的时间复杂度

- **算法的时间复杂度**：事前预估 算法时间开销 $T(n)$与 问题规模 n的关系。（T表示“time”）
- **语句的频度**：语句在算法中被重复执行的次数
- 算法中所有语句的 频度之和 记作$T(n)$,即：对应算法问题规模n的函数，时间复杂度主要是来分析$T(n)$的数量级；
- **算法的时间复杂度不仅依赖于问题的规模n，也取决于待输入的数据的性质（例如：输入元素的初始状态）**
- **常见的时间复杂度**
  - $O(1)<O(log_2n)<O(n)<O(nlog_2n)<O(n^2)<O(n^3)<O(2^n)<O(n!)<O(n^n)$
  - 口诀： 常对幂指阶
- **计算时间复杂度的技巧分析**
  - 顺序执行的代码只会影响常数项，可以忽略
  - 只需挑循环中的一个基本操作分析它的执行次数与n的关系即可
  - 如果有多层嵌套循环，只需关注最深层循环循环了几次
- **计算时间复杂度的技巧总结**
  1. 找到一个基本操作（最深层循环）
  2. 分析该基本操作的执行次数×与问题规模n的关系$x=f(n)$
  3. x的数量级$O(x)$就是算法时间复杂度$T(n)$（$T(n)=O(f(n))$）
- **时间复杂度分类**
  - 最好时间复杂度：**最好的情况下**，算法的时间复杂度
  - 最坏时间复杂度：**最坏的情况下**，算法的时间复杂度
  - 平均时间复杂度：**所有可能输入实例在同等概率出现的情况下**，算法的期望运行时间
  - 一般情况下，考虑最坏情况的时间复杂度（即： 最坏时间复杂度 ），保证算法的运行时间不会更长
- O(n)的计算规则
  - 加法规则：$O(f(n))+O(g(n))=O(max(f(n),g(n)))$
    - 多项相加，只保留最高阶的项，且系数变为1
  - 乘法规则：$O(f(n))\times O(g(n))=O(f(n)\times g(n))$
    - 多项相乘，都保留

1.2.3 算法的空间复杂度

- **算法原地工作**——算法所需内存空间为 常量

$$
\text{计算空间复杂度}\begin{cases}\text{普通程序}\begin{cases}①找到所占空间大小与问题规模相关的变量\\②分析所占空间x与问题规模n的关系x=f(n)\\③x的数量级O(x)就是算法空间复杂度S(n)\end{cases}\\ \text{递归程序}\begin{cases}①找到递归调用的深度x与问题规模n的关系x=f(n)\\②x的数量级O(x)就是算法空间复杂度S(n)\\注：有的算法各层函数所需存储空间不同，分析方法略有区别\end{cases}\end{cases}
$$

第2章 线性表

2.1 线性表的定义和基本操作

2.1.1 线性表的定义

- 线性表是具有 相同数据类型 的$n(n \geq 0)$个 数据元素 的 有限序列，其中n为 表长，当n=0时线性表是一个 空表。若用L命名线性表，则其一般表示为

$$L=(a_1,a_2,\ldots,a_i,a_{i+1},\ldots,a_n)$$

  - 每个数据元素所占空间 一样大
  - 线性表是 有限 且 有序 的
- 几个概念：
- a_i是线性表中的"第i个"元素线性表中的 位序
- a_1 是 表头元素；a_n是 表尾元素
- 除第一个元素外，每个元素有且仅有一个 直接前驱
- 除最后一个元素外，每个元素有且仅有一个 直接后继

2.1.2 线性表的基本操作（C++写法）

函数	功能	具体说明	备注
InitList(&L)	初始化表	构造一个空的线性表L,分配内存空间。	从无到有
DestroyList(&L)	销毁操作	销毁线性表，并释放线性表L所占用的内存空间。	从有到无
Listlnsert(&Li,e)	插入操作	在表L中的第i个位置上插入指定元素e。	
ListDelete(&L,i,&e)	删除操作	删除表L中第i个位置的元素，并用e返回删除元素的值。	
LocateElem(L,e)	按值查找操作	在表L中查找具有给定关键字值的元素。	
GetElem(L,i)	按位查找操作	获取表L中第i个位置的元素的值	
Length(L)	求表长	返回线性表L的长度，即L中数据元素的个数。	
PrintList(L)	输出操作	按前后顺序输出线性表L的所有元素值。	
Empty(L)	判空操作	若L为空表，则返回true,否则返回false。	

- 对数据的操作（记忆思路）——创销、增删改查
- 函数名和参数的形式、命名都可改变，此处参考了严蔚敏版《数据结构》

2.2 线性表的顺序表示

2.2.1 顺序表的定义

- 顺序表：用 顺序存储 的方式实现的 线性表
- 顺序存储：把 逻辑上相邻的元素 存储在 物理位置上也相邻 的 存储单元 中，元素之间的关系由 存储单元的邻接关系 来体现。

- 设线性表第一个元素的存放位置是$LOC(L)$（LOC是location的缩写），则第i位元素的地址为：

$$LOC(i) = LOC(L) + i \times \text{数据元素的大小}$$

- c语言通过 `sizeof(ElemType)` 函数知道一个数据元素的大小，其中，ElemType就是顺序表中存放的数据元素类型

2.2.2 顺序表的实现

$$\text{顺序表}\begin{cases}\text{实现方式}\begin{cases}\text{静态分配} \rightarrow \text{使用“静态数组”实现，大小一旦确定就无法改变}\\ \text{动态分配} \rightarrow \text{使用“动态数组”实现}\begin{cases}\text{顺序表存满时，可再用}malloc\text{动态拓展顺序表的最大容量}\\ \text{需要将数据元素复制到新的存储区域，并用}free\text{函数释放原区域}\end{cases}\end{cases}\\ \text{特点}\begin{cases}\text{随机访问} \rightarrow \text{能在}O(1)\text{时间内找到第}i\text{个元素}\\ \text{存储密度高}\\ \text{拓展容量不方便}\\ \text{插入、删除数据元素不方便}\end{cases}\end{cases}$$

- 顺序表的 静态分配 和 动态分配 是两种不同的 内存管理方式 。
- **静态分配**：
  - **定义：**
    在静态分配中，数组的大小在 编译 时确定，程序在 运行前 就会为数组分配 固定大小的内存空间 。
  - **优点：**
    1. 速度较快 ： 数组的大小是 确定 的，不需要额外的 内存分配操作 ，因此访问元素的速度较快。
    2. 简单 ： 不需要额外的内存管理操作，代码相对 简单 。
  - **缺点：**
    1. 内存浪费 ： 数组的大小是固定的，可能会浪费内存空间。
    2. 大小固定 ： 数组的大小在编译时确定，无法根据实际需要动态调整大小。
- **动态分配**：
  - **定义：**
    在动态分配中，数组的大小是在 运行 时 动态分配 的，程序可以根据需要 动态申请和释放内存空间 。
  - **优点：**
    1. 内存利用率高 ： 可以根据实际需要动态调整数组的大小，节省内存空间。
    2. 灵活性高 ： 数组大小可动态调整，适应性强。
  - **缺点：**
    1. 复杂性 ： 需要额外的内存管理操作，可能增加程序的复杂性。
    2. 内存碎片化 ： 频繁分配和释放内存可能会导致内存碎片问题。

2.2.2.1 静态分配

2.2.2.1.1 静态顺序表结构定义

2.2.2.1.1.1 C语言格式

```c
#define MaxSize 10              // 定义最大长度
typedef struct
{
    ElemType data[MaxSize];     // 用静态的“数组”存放数据元素
    int length;                 // 顺序表的当前长度
```

```
}SqList;                                    // 顺序表的类型定义（静态分配方式）
```

- 注释：
- `MaxSize` 定义了顺序表的最大长度。
- `data` 是一个静态数组，用于存储顺序表的元素。
- `length` 表示当前顺序表中的元素个数。

2.2.2.1.1.2 C++语言格式

```
#include <iostream>
#define MaxSize 10                          // 定义最大长度
using namespace std;

template<class T>
class SqList
{
private:
    T data[MaxSize];                        // 用静态的“数组”存放数据元素
    int length;                             // 顺序表的当前长度
public:
    SqList();                               // 默认构造函数声明
    ~SqList();                              // 析构函数声明
}
```

- 注释：
  - `MaxSize` 定义了顺序表的最大长度。
  - `data` 是一个静态数组，用于存储顺序表的元素。
  - `length` 表示当前顺序表中的元素个数。
  - `SqList()` 是默认构造函数，用于初始化顺序表。
  - `~SqList()` 是析构函数，用于释放顺序表的内存。

2.2.2.1.2 静态顺序表初始化和销毁

2.2.2.1.2.1 C语言格式

[[#2.2.2.1.1.1 C语言格式|点此查看静态顺序表C语言格式定义]]

```
void InitList(SqList *L) {
    // 可选：初始化每个元素的默认值
    for (int i = 0; i < MaxSize; ++i)
    {
        L->data[i] = defaultValue;
    }
    // 初始化顺序表的长度为0
    L->length = 0;
}

void DestroyList(SqList *L) {
    // 销毁静态顺序表，释放内存
    // 将顺序表的长度置为0，表示清空顺序表
    L->length = 0;
```

```
    // 无需释放内存，静态顺序表的内存是在栈上分配的，自动释放
}

int main() {
    // 声明一个静态顺序表变量
    SqList L;
    // 初始化静态顺序表
    InitList(&L);
    // 在这里可以对静态顺序表进行其他操作
    DestroyList(&L);
    return 0;
}
```

- **注释：**
  - `InitList` 函数用于初始化静态顺序表 `L`。
    - 可以选择性地为每个元素赋予默认值。
    - 将顺序表的长度初始化为0。
  - 调用 `InitList(&L)` 函数对静态顺序表 `L` 进行初始化。
  - `DestroyList` 函数用于销毁静态顺序表 `L`，释放其内存。
    - 将顺序表的长度置为0，表示清空顺序表。
    - 由于静态顺序表的内存是在栈上分配的，因此无需手动释放内存，内存会在函数执行结束时自动释放。
  - 在 `main()` 函数中，声明了一个静态顺序表变量 `L`。
  - 在 `main()` 函数中，可以对静态顺序表 `L` 进行其他操作。

2.2.2.1.2.2 C++语言格式

[[#2.2.2.1.1.2 C++语言格式|点此查看静态顺序表C++语言格式定义]]

```
template<class T>
SqList<T>::SqList() {
    length = 0;                    // 初始化顺序表的长度为0
}

template<class T>
SqList<T>::~SqList() {
    // 析构函数内容
}
```

- **注释：**
  - `SqList()` 是默认构造函数，用于初始化顺序表，将长度初始化为0。
  - `~SqList()` 是析构函数，用于清理顺序表的资源。
    - 由于静态顺序表的内存是在栈上分配的，因此无需手动释放内存，内存会在函数执行结束时自动释放，所以该析构函数为空函数。

2.2.2.1.3 静态顺序表插入和删除

2.2.2.1.3.1 C语言格式

[[#2.2.2.1.1.1 C语言格式|点此查看静态顺序表C语言格式定义]]

```c
bool ListInsert(SqList *L, int i, ElemType e)
{
    // 判断位置合法性
    if (i < 1 || i > L->length + 1)
    {
        printf("插入位置错误\n");
        return false;
    }

    // 判断顺序表是否已满
    if (L->length >= MaxSize)
    {
        printf("顺序表已满\n");
        return false;
    }

    // 将第i个元素及之后的元素后移
    for (int j = L->length; j >= i; --j)
    {
        L->data[j] = L->data[j - 1];
    }

    // 赋值,表长加一
    L->data[i - 1] = e;
    L->length++;

    return true;
}

bool ListDelete(SqList *L, int i, ElemType *e)
{
    // 判断位置合法性
    if (i < 1 || i > L->length) {
        printf("删除位置错误\n");
        return false;
    }

    // 返回删除的元素值
    *e = L->data[i - 1];

    // 第i位往后的每一位均前移一位
    for (int j = i; j < L->length; ++j)
    {
        L->data[j - 1] = L->data[j];
    }

    // 表长减一
    L->length--;
    return true;
```

```
50  }
```

- 注释：
  - `ListInsert` 函数用于在顺序表 `L` 的第 `i` 个位置插入元素 `e`。
  - `ListDelete` 函数用于删除顺序表 `L` 的第 `i` 个位置的元素，并将被删除的元素值通过参数 `e` 返回。
  - 在插入和删除时，需要进行位置的合法性检查，包括检查插入位置是否合法，顺序表是否已满以及删除位置是否合法。
  - 插入时，需要将第 `i` 个位置及其后的元素依次后移，并将元素 `e` 插入到第 `i` 个位置。
  - 删除时，将第 `i` 个位置及其后的元素依次前移，同时将被删除的元素值通过参数 `e` 返回。
  - 索引 `i` 从1开始。
  - 插入和删除的时间复杂度为O(n)。

2.2.2.1.3.2 C++语言格式

[[#2.2.2.1.1.2 C++语言格式|点此查看静态顺序表C++语言格式定义]]

```cpp
template<class T>
bool SqList<T>::ListInsert(int i, const T& e) {
    if (i < 1 || i > length + 1) {
        cout << "插入位置错误" << endl;
        return false;
    }
    if (length ⩾ MaxSize) {
        cout << "顺序表已满" << endl;
        return false;
    }
    for (int j = length; j ⩾ i; --j) {
        data[j] = data[j - 1];
    }
    data[i - 1] = e;
    ++length;
    return true;
}

template<class T>
bool SqList<T>::ListDelete(int i, T& e) {
    if (i < 1 || i > length) {
        cout << "删除位置错误" << endl;
        return false;
    }
    e = data[i - 1];
    for (int j = i; j < length; ++j) {
        data[j - 1] = data[j];
    }
    --length;
    return true;
}
```

- 注释：
  - `ListInsert` 函数用于在顺序表的第 `i` 个位置插入元素 `e`。

- `ListDelete` 函数用于删除顺序表的第 `i` 个位置的元素，并将被删除的元素值通过引用参数 `e` 返回。
- 在插入和删除时，需要进行位置的合法性检查，包括检查插入位置是否合法，顺序表是否已满以及删除位置是否合法。
- 插入时，需要将第 `i` 个位置及其后的元素依次后移，并将元素 `e` 插入到第 `i` 个位置。
- 删除时，将第 `i` 个位置及其后的元素依次前移，同时将被删除的元素值通过引用参数 `e` 返回。
- 索引 `i` 从1开始。
- 插入和删除的时间复杂度为O(n)。

2.2.2.1.4 静态顺序表的查找

2.2.2.1.4.1 C语言格式

[[#2.2.2.1.1.1 C语言格式|点此查看静态顺序表C语言格式定义]]

```c
int LocateElem(SqList L, ElemType e)
{
    for (int i = 0; i < L.length; ++i)
    {
        if (L.data[i] == e) {
            return i + 1;    // 返回元素在顺序表中的位序
        }
    }
    return 0;    // 表示查找失败
}

ElemType GetElem(SqList L, int i)
{
    if (i < 1 || i > L.length)
    {
        printf("位置不合法\n");
        return ERROR;
    }
    return L.data[i - 1];
}
```

- **注释：**
  - `LocateElem` 函数用于按值查找元素 `e` 在顺序表 `L` 中的位置，返回其位序（从1开始）。
  - `GetElem` 函数用于按位查找顺序表 `L` 中位序为 `i` 的元素，返回其值。
  - 若查找失败， `LocateElem` 返回0， `GetElem` 返回错误标志。

2.2.2.1.4.2 C++语言格式

[[#2.2.2.1.1.2 C++语言格式|点此查看静态顺序表C++语言格式定义]]

```cpp
template<class T>
int LocateElem(const SqList<T>& L, const T& e)
{
    for (int i = 0; i < L.length; ++i)
    {
        if (L.data[i] == e)
        {
            return i + 1;    // 返回元素在顺序表中的位序
```

```
        }
    }
    return 0;   // 表示查找失败
}

template<class T>
T GetElem(const SqList<T>& L, int i)
{
    if (i < 1 || i > L.length)
    {
        cout << "位置不合法" << endl;
        return ERROR;
    }
    return L.data[i - 1];
}
```

- 注释：
  - `LocateElem` 函数用于按值查找元素 `e` 在顺序表 `L` 中的位置，返回其位序（从1开始）。
  - `GetElem` 函数用于按位查找顺序表 `L` 中位序为 `i` 的元素，返回其值。
  - 若查找失败，`LocateElem` 返回0，`GetElem` 返回错误标志。

2.2.2.1.5 静态顺序表的其他常用函数

2.2.2.1.5.1 C语言格式

[[#2.2.2.1.1.1 C语言格式|点此查看静态顺序表C语言格式定义]]

```
int Length(SqList L)
{
    return L.length;                    // 返回顺序表L的长度
}

void PrintList(SqList L)
{
    for (int i = 0; i < L.length; ++i)
    {
        cout << L.data[i] << " ";       // 按前后顺序输出顺序表L的所有元素值
    }
    cout << endl;
}

bool Empty(SqList L)
{
    return L.length == 0;               // 判断顺序表L是否为空表
}
```

- 注释：
  - `Length` 函数用于返回顺序表 `L` 的长度，即其中数据元素的个数。
  - `PrintList` 函数用于按前后顺序输出顺序表 `L` 的所有元素值。
  - `Empty` 函数用于判断顺序表 `L` 是否为空表，若为空表则返回 `true`，否则返回 `false`。

2.2.2.1.5.2 C++语言格式

[[#2.2.2.1.1.2 C++语言格式|点此查看静态顺序表C++语言格式定义]]

```cpp
template<class T>
int SqList<T>::Length()
{
    return length;                          // 返回顺序表的长度
}

template<class T>
void SqList<T>::PrintList()
{
    for (int i = 0; i < length; ++i)
    {
        cout << data[i] << " ";             // 按前后顺序输出顺序表的所有元素值
    }
    cout << endl;
}

template<class T>
bool SqList<T>::Empty()
{
    return length == 0;                     // 判断顺序表是否为空表
}
```

- **注释：**
  - `Length` 成员函数用于返回顺序表的长度，即其中数据元素的个数。
  - `PrintList` 成员函数用于按前后顺序输出顺序表的所有元素值。
  - `Empty` 成员函数用于判断顺序表是否为空表，若为空表则返回 `true`，否则返回 `false`。

2.2.2.2 动态分配

2.2.2.2.1 动态顺序表结构定义

2.2.2.2.1.1 C语言格式

```cpp
typedef struct
{
    ElemType *data;      // 指向动态分配数组的指针
    int length;          // 顺序表的当前长度
    int maxSize;         // 顺序表的最大容量
} DynamicSqList;
```

- **注释：**
- `data` 是一个指向 `ElemType` 类型的指针，用于动态分配存储空间。
- `length` 表示当前顺序表中的元素个数。
- `maxSize` 表示当前动态顺序表的最大容量。

2.2.2.2.1.2 C++语言格式

```cpp
#include <iostream>
using namespace std;

template<class T>
class DynamicSqList
{
private:
    T *data;         // 指向动态分配数组的指针
    int length;      // 顺序表的当前长度
    int maxSize;     // 顺序表的最大容量
public:
    DynamicSqList();      // 默认构造函数声明
    ~DynamicSqList();     // 析构函数声明
};
```

注释：

- `data` 是一个指向模板类型 `T` 的指针，用于动态分配存储空间。
- `length` 表示当前顺序表中的元素个数。
- `maxSize` 表示当前动态顺序表的最大容量。
- `DynamicSqList()` 是默认构造函数，用于初始化顺序表。
- `~DynamicSqList()` 是析构函数，用于释放顺序表的内存。

2.2.2.2 动态顺序表初始化和销毁

2.2.2.2.1 C语言格式

[[#2.2.2.2.1.1 C语言格式|点此查看动态顺序表C语言格式定义]]

```cpp
#include <cstdlib> // 为了使用 malloc 和 free 函数
void InitList(DynamicSqList *L)
{
    // 动态分配数组空间
    L->data = (ElemType *)malloc(MaxSize * sizeof(ElemType));
    if (L->data == NULL)
    {
        // 内存分配失败，进行相应错误处理
        exit(-1);
    }
    L->length = 0;         // 初始化顺序表的长度为0
    L->maxSize = MaxSize;// 初始化顺序表的最大容量
}

void DestroyList(DynamicSqList *L)
{
    // 释放动态分配的数组空间
    free(L->data);
    L->data = NULL;    // 避免野指针问题
    L->length = 0;     // 重置顺序表的长度为0
    L->maxSize = 0;    // 重置顺序表的最大容量为0
}
```

```
23
24
25  int main()
26  {
27      // 测试初始化函数
28      DynamicSqList list;
29      InitList(&list);
30      DestroyList(&list);
31  }
32
```

- 注释：
  - `InitList` 函数用于初始化动态顺序表 `L`。
  - `DestroyList` 函数用于销毁动态顺序表 `L`。
  - 使用 `malloc()` 函数动态分配数组空间。
    - `malloc()` ： void *malloc(size_t size);
    - `malloc()` 函数用于在堆上动态分配指定大小的内存空间，并返回一个指向该内存空间的指针。如果分配失败，则返回 `NULL`。
  - 使用 `free()` 函数销毁数组空间。
    - `free()` ： void free(void *ptr);
    - `free()` 函数用于释放之前使用 `malloc()`、`calloc()` 或 `realloc()` 分配的动态内存空间。被释放的内存空间会被归还给系统，并可以被系统重新分配给其他用途。
    - 将顺序表的指针 `data` 置为 `NULL`。
      - 在释放动态分配的内存空间后，将指向该内存空间的指针设置为 `NULL`，可以防止程序继续引用已经释放的内存，避免产生野指针。
  - 如果内存分配失败，需要进行相应的错误处理。
  - 将顺序表的长度初始化为0，最大容量初始化为 `MaxSize`。

2.2.2.2.2.2 C++语言格式

[[#2.2.2.2.1.2 C++语言格式|点此查看动态顺序表C++语言格式定义]]

```
1   template<class T>
2   DynamicSqList<T>::DynamicSqList()
3   {
4       maxSize = 10;          // 默认初始化为容量为10的顺序表
5       data = new T[maxSize];
6       length = 0;
7   }
8
9   template<class T>
10  DynamicSqList<T>::~DynamicSqList()
11  {
12      delete[] data;
13  }
```

- 注释：
  - `DynamicSqList()` 是默认构造函数，用于初始化顺序表，将容量初始化为10。

    - 默认构造函数是在没有提供任何参数的情况下调用的构造函数。在该情况下，`DynamicSqlList()` 会被调用，用于创建顺序表对象并将其容量初始化为10。
- 使用 `new` 关键字动态分配数组空间。
    - `new` 关键字用于在堆上动态分配内存空间。在这里，`new` 被用来分配一个大小为 `maxSize` 的数组空间，并返回指向该空间的指针。
- 使用 `delete` 关键字销毁动态分配的数组空间。
    - `delete` 关键字用于释放之前使用 `new` 关键字分配的动态内存空间。在这里，`delete[]` 被用来释放动态分配的数组空间。
- `~DynamicSqlList()` 是析构函数，用于释放顺序表的内存。
    - 析构函数是在对象销毁时自动调用的函数。在这里，`~DynamicSqlList()` 被用来释放顺序表对象所分配的内存空间。

2.2.2.2.3 动态顺序表插入和删除

2.2.2.2.3.1 C语言格式

[[#2.2.2.2.1.1 C语言格式|点此查看动态顺序表C语言格式定义]]

```c
bool ListInsert(DynamicSqlList *L, int i, ElemType e)
{
    //  判断插入位置合法性
    if (i < 1 || i > L->length + 1)
    {
        printf("插入位置不合法\n");
        return false;
    }

    //  判断是否需要扩容
    if (L->length >= L->maxSize)
    {
        if(!IncreaseSize(L))    // 如果顺序表已满，则增加表最大长度
        {
            return false;
        }
    }

    //  开始插入操作
    for (int j = L->length; j > i - 1; j--)
    {
        L->data[j] = L->data[j - 1];
    }
    L->data[i - 1] = e;
    L->length++;
    return true;
}


bool ListDelete(DynamicSqlList *L, int i, ElemType *e)
{
    //  判断操作位置合法性
    if (i < 1 || i > L->length)
    {
        printf("删除位置不合法\n");
```

```
36          return false;
37      }
38
39      //  返回删除元素的值
40      *e = L->data[i - 1];
41
42      //  开始删除操作
43      for (int j = i; j < L->length; j++)
44      {
45          L->data[j - 1] = L->data[j];
46      }
47      L->length--;
48      return true;
49  }
50
51  bool IncreaseSize(DynamicSqList *L)
52  {
53      L->maxSize *= 2;        // 表最大长度增加一倍
54      ElemType *newData = (ElemType *)malloc(L->maxSize * sizeof(ElemType));
55      // 如果分配失败
56      if (!newData)
57      {
58          printf("增加表最大长度失败\n");
59          return false;
60      }
61      // 转移数据到新内存空间
62      memcpy(newData, L->data, L->length * sizeof(ElemType));
63       // 释放旧内存
64      free(L->data);
65      //  指向信内存
66      L->data = newData;
67      return true;
68  }
```

- 注释：
  - `ListInsert` 函数用于在顺序表 `L` 的第 `i` 个位置插入元素 `e`。
    - 如果插入位置不合法，则输出提示信息并返回。
    - 如果顺序表已满，则调用 `IncreaseSize` 函数增加表最大长度。
    - 插入元素后，顺序表的长度增加1。
  - `ListDelete` 函数用于删除顺序表 `L` 的第 `i` 个位置的元素，并将删除的元素值存放到 `e` 中。
    - 如果删除位置不合法，则输出提示信息并返回。
    - 删除元素后，顺序表的长度减少1。
  - `IncreaseSize` 函数用于增加顺序表的最大长度。
    - 将表的最大长度增加为原来的两倍。
    - 使用 `realloc` 函数重新分配内存空间，并将新空间地址赋给 `L->data`。
    - 如果分配失败，则输出提示信息。

2.2.2.2.3.2 C++语言格式

[[#2.2.2.2.1.2 C++语言格式|点此查看动态顺序表C++语言格式定义]]

```cpp
template<class T>
bool DynamicSqList<T>::ListInsert(int i, T e)
{
    if (i < 1 || i > length + 1)
    {
        cout << "插入位置不合法" << endl;
        return false;
    }
    if (length ⩾ maxSize)
    {
        if(!IncreaseSize())    // 如果顺序表已满，则增加表最大长度
        {
            return false;
        }
    }
    for (int j = length;j > i - 1; j--)
    {
        data[j] = data[j - 1];
    }
    data[i - 1] = e;
    length++;
    return true;
}

template<class T>
bool DynamicSqList<T>::ListDelete(int i, T &e)
{
    if (i < 1 || i > length)
    {
        cout << "删除位置不合法" << endl;
        return false;
    }
    e = data[i - 1];
    for (int j = i; j < length; j++)
    {
        data[j - 1] = data[j];
    }
    length--;
    return true;
}

template<class T>
bool DynamicSqList<T>::IncreaseSize()
{
    maxSize *= 2;        // 表最大长度增加一倍
    T *newData = new T[maxSize];
    if (!newData)
    {
        cout << "增加表最大长度失败" << endl;
        return false;
    }
```

```
    for (int i = 0; i < length; ++i)
    {
        newData[i] = data[i];
    }
    delete[] data;
    data = newData;
    return true;
}
```

- 注释：
  - `ListInsert` 函数用于在顺序表 `L` 的第 `i` 个位置插入元素 `e`。
    - 如果插入位置不合法，则输出提示信息并返回。
    - 如果顺序表已满，则调用 `IncreaseSize` 函数增加表的最大长度，以确保能够插入新元素。
    - 插入元素后，顺序表的长度增加1。
  - `ListDelete` 函数用于删除顺序表 `L` 的第 `i` 个位置的元素，并将删除的元素值存放到 `e` 中。
    - 如果删除位置不合法，则输出提示信息并返回。
    - 删除元素后，顺序表的长度减少1。
  - `IncreaseSize` 函数用于增加顺序表的最大长度。
    - 将表的最大长度增加为原来的两倍。
    - 重新分配内存空间，并将原数据复制到新分配的内存空间中。
    - 如果分配失败，则输出提示信息。

2.2.2.2.4 动态顺序表的查找

2.2.2.2.4.1 C语言格式

[[#2.2.2.2.1.1 C语言格式|点此查看动态顺序表C语言格式定义]]

```
int LocateElem(DynamicSqList *L, ElemType e)
{
    for (int i = 0; i < L->length; ++i)
    {
        if (L->data[i] == e)
        {
            return i + 1;
        }
    }
    return 0;   // 未找到元素，返回0
}

ElemType GetElem(DynamicSqList *L, int i)
{
    if (i < 1 || i > L->length)
    {
        printf("位置不合法\n");
        return ERROR;   // 位置不合法，返回错误值
    }
    return L->data[i - 1];
}
```

- 注释：
  - `LocateElem` 函数用于按值查找顺序表 `L` 中元素 `e`，返回其在顺序表中的位置。
    - 如果找到元素，则返回其在顺序表中的位置（从1开始）。
    - 如果未找到元素，则返回0。
  - `GetElem` 函数用于按位查找顺序表 `L` 中第 `i` 个位置的元素。
    - 如果位置不合法，则输出提示信息并返回错误值。
    - 如果位置合法，则返回第 `i` 个位置的元素值。
  - 索引 `i` 从1开始。
  - 插入和删除的时间复杂度为O(n)。

2.2.2.2.4.2 C++语言格式

[[#2.2.2.2.1.2 C++语言格式|点此查看动态顺序表C++语言格式定义]]

```cpp
template<class T>
int LocateElem(T e)
{
    for (int i = 0; i < length; ++i)
    {
        if (data[i] == e)
        {
            return i + 1;
        }
    }
    return 0;    // 未找到元素，返回0
}

template<class T>
T GetElem(int i)
{
    if (i < 1 || i > length)
    {
        cout << "位置不合法" << endl;
        return ERROR;    // 位置不合法，返回错误值
    }
    return data[i - 1];
}
```

- 注释：
  - `LocateElem` 函数用于按值查找顺序表中元素 `e`，返回其在顺序表中的位置。
    - 如果找到元素，则返回其在顺序表中的位置（从1开始）。
    - 如果未找到元素，则返回0。
  - `GetElem` 函数用于按位查找顺序表中第 `i` 个位置的元素。
    - 如果位置不合法，则输出提示信息并返回错误值。
    - 如果位置合法，则返回第 `i` 个位置的元素值。
  - 索引 `i` 从1开始。
  - 插入和删除的时间复杂度为O(n)。

2.2.2.2.5 动态顺序表的其他常用函数

2.2.2.2.5.1 C语言格式

[[#2.2.2.2.1.1 C语言格式|点此查看动态顺序表C语言格式定义]]

```c
int Length(DynamicSqList L)
{
    return L.length;      // 返回顺序表L的长度
}

void PrintList(DynamicSqList L)
{
    for (int i = 0; i < L.length; ++i)
    {
        printf("%d ", L.data[i]);
    }
    printf("\n");
}

bool Empty(DynamicSqList L)
{
    if (L.length == 0)
    {
        return true;     // 若L为空表，则返回true
    }
    else
    {
        return false;    // 否则返回false
    }
}
```

- **注释：**
  - `Length(L)` 函数用于返回顺序表 `L` 的长度，即其中数据元素的个数。
  - `PrintList(L)` 函数用于按前后顺序输出顺序表 `L` 的所有元素值。
  - `Empty(L)` 函数用于判断顺序表 `L` 是否为空表，若为空表则返回 `true`，否则返回 `false`。

2.2.2.2.5.2 C++语言格式

[[#2.2.2.2.1.2 C++语言格式|点此查看动态顺序表C++语言格式定义]]

```cpp
template<class T>
int DynamicSqList<T>::Length()
{
    return length;     // 返回顺序表L的长度
}

template<class T>
void DynamicSqList<T>::PrintList()
{
    for (int i = 0; i < length; ++i)
    {
        cout << data[i] << " ";
    }
```

```
    cout << endl;
}

template<class T>
bool DynamicSqList<T>::Empty()
{
    if (length == 0)
    {
        return true;    // 若L为空表，则返回true
    }
    else
    {
        return false;   // 否则返回false
    }
}
```

- **注释：**
  - `Length()` 函数用于返回顺序表的长度，即其中数据元素的个数。
  - `PrintList()` 函数用于按前后顺序输出顺序表的所有元素值。
  - `Empty()` 函数用于判断顺序表是否为空表，若为空表则返回 `true`，否则返回 `false`。

2.3 线性表的链式表示

2.3.1 单链表的定义

线性表的 链式存储结构，也称为单链表，是指通过一组任意的存储单元来存储线性表中的数据元素的数据结构。为了维护数据元素之间的线性关系，每个链表结点不仅包含元素自身的信息，还包含一个指向其后继结点的指针。（即，各结点间的先后关系通过指针来表示）

单链表结点的结构如下图所示：

- `data（数据域）`：用于存放数据元素。
- `next（指针域）`：用于存放后继结点的地址。

这种结构使得单链表可以 动态地分配内存，不需要事先确定数据元素的数量，并且在插入和删除操作时，能够灵活地调整数据元素的存储位置。

2.3.1.1 单链表的优缺点

- **优点**
  1. **动态内存分配**：单链表可以根据需要动态地分配和释放内存，无需预先分配固定大小的存储空间，从而节省内存。
  2. **插入和删除操作高效**：插入和删除操作只需修改相关结点的指针，不涉及大量数据元素的移动，因此在任意位置进行插入和删除操作的时间复杂度为 `O(1)`。
  3. **更高的灵活性**：可以方便地调整链表的大小，适应不同数量的数据元素。
- **缺点**
  1. **访问速度较慢**：由于单链表的元素不是连续存储的，访问某个特定位置的元素需要从头结点开始逐一遍历，时间复杂度为 `O(n)`，不如数组的随机访问效率高。
  2. **额外的存储空间**：每个结点除了存储数据元素外，还需要存储一个指针，这些指针域占用了额外的存储空间。
  3. **不易实现逆向遍历**：单链表只能 `从前向后遍历`，逆向遍历较为困难，需要额外的数据结构（如双链表）或额外的存储来记录遍历路径。
  4. **增加编程复杂性**：与数组相比，单链表的实现和操作相对复杂，尤其是在处理指针和内存管理时，需要更加小心。

总的来说，单链表适用于需要频繁插入和删除操作的应用场景，但在需要快速随机访问元素的情况下，效率不如数组。

2.3.1.2 带头结点的单链表 V.S. 不带头节点的单链表

2.3.1.2.1 带头结点的单链表

特点

- **头结点**：包含一个 `不存储实际数据的头结点（dummy node）`，主要用于 `简化链表操作`。
- **头结点作用**：即使链表为空，`头结点依然存在`，方便对链表进行操作。

优点

1. **操作简化**：无需特殊处理头结点和其他结点的操作，如插入、删除第一个结点与其他结点的 `操作一致`，简化了代码逻辑。
2. **统一处理**：链表为空时，依然有头结点存在，可以统一处理所有结点的操作，避免了空指针异常。
3. **简化边界条件**：由于有头结点，处理链表头部操作时 `无需考虑特殊边界条件`，如在头部插入或删除时，代码更加简洁。

缺点

1. **额外的空间开销**：多了一个头结点，占用了一些额外的存储空间。
2. **稍微复杂的初始化**：需要在创建链表时初始化头结点。

2.3.1.2.2 不带头结点的单链表

特点

- **无头结点**：链表的第一个结点直接存储第一个数据元素。
- **直接操作**：所有结点都直接存储数据元素，没有额外的头结点。

优点

1. **节省空间**：没有头结点，节省了一个结点的存储空间。
2. **简单初始化**：初始化时无需创建头结点，初始化过程稍微简单。

缺点

1. **操作复杂**：头结点和其他结点的操作需要区别对待，如插入、删除第一个结点需要单独处理，增加了代码的复杂性。
2. **边界条件处理繁琐**：链表为空时，没有头结点存在，需要特别处理空链表的情况，容易导致空指针异常。

2.3.1.2.3 总结

- **带头结点的单链表**：简化了链表操作和边界条件处理，适合更复杂的操作场景，虽然多了一个头结点会占用一点额外空间，但编程更加简洁和安全。
- **不带头结点的单链表**：节省了空间，初始化更简单，但在操作和边界条件处理上较为繁琐，适合简单链表操作的场景。

2.3.1.3 头节点和头指针的区分

在单链表数据结构中，头节点（head node）和头指针（head pointer）是两个容易混淆但又各自不同的重要概念。让我们详细解释它们的定义和容易混淆的点。

头节点（Head Node）

头节点是指 `链表中的第一个节点`，通常存储链表中的第一个元素的数据。在链表结构中，头节点本身就是一个节点，包含 `数据域和指向下一个节点的指针（即next指针）`。

头指针（Head Pointer）

头指针是一个 `指针变量`，它指向链表的第一个节点（即头节点）。头指针本身不存储链表的数据，它只是一个指针，用于 `存储头节点的地址，以便能够访问链表`。

2.3.1.4 单链表结点的代码描述

```
typedef int Elemtype;
// 定义单链表节点结构体
typedef struct LNode {
    Elemtype data;          // 数据部分，可以根据实际需要定义不同类型的数据
    struct LNode *next;   // 指针部分，指向下一个节点的地址
} LNode, *LinkList;
```

在这个结构体中，`data` 是存储节点数据的变量，`next` 是一个指向 `struct LNode` 类型的指针，它指向链表中的下一个节点。通过这种方式，每个节点就能够存储自己的数据，并且通过 `next` 指针链接到下一个节点，从而形成一个链表。

2.3.1.4.1 typedef关键字的用法

`typedef` 是C语言中的一个关键字，用于 `为已有数据类型定义新的别名`。它的主要作用是增强代码的可读性和易用性，特别是在处理复杂的数据结构时，如结构体或者函数指针等。

2.3.1.4.1.1 单链表结点定义时，为什么要使用 `typedef`？

在单链表节点的定义中，使用 `typedef` 的主要原因有两点：

- **简化类型名称**：定义单链表节点结构体时，结构体名 `struct LNode` 和指向该结构体的指针 `struct LNode *` 是比较冗长的。使用 `typedef` 可以为 `struct LNode` 定义一个更简洁的别名 `LNode`，使得代码更加清晰和简洁。
- **抽象数据类型**：通过 `typedef`，可以将数据类型的实现与其名称分离开来。这样一来，如果需要修改数据类型或者在多个文件中使用相同的数据类型时，只需修改一处 `typedef` 定义即可，提高了代码的维护性和可重用性。

2.3.1.4.1.2 `typedef` 的语法

`typedef` 的语法格式如下：

```
typedef existing_type new_type_name;
```

- `existing_type` 是已有的数据类型，可以是基本数据类型（如 `int`，`float` 等），也可以是自定义的结构体、枚举类型等。
- `new_type_name` 是为 `existing_type` 定义的新的别名。

2.3.1.4.1.3 `LNode` VS `LinkList`

- `LinkList` 等价于 `LNode *`
- 前者强调这是 `链表`，后者强调这是 `结点`
- 合适的地方使用合适的名字，这样 `代码的可读性更高`

2.3.1.5 单链表的基本操作

1. **插入操作**：
   - **在头部插入（头插法）**：将新节点插入到链表的开头。
   - **在尾部插入（尾插法）**：将新节点插入到链表的末尾。
   - **在指定位置插入（按位插入）**：将新节点插入到链表的指定位置。
2. **删除操作**：
   - **删除头节点**：移除链表的第一个节点。
   - **删除尾节点**：移除链表的最后一个节点。
   - **删除指定节点**：移除链表中指定的节点。
3. **查找操作**：
   - **按值查找**：查找包含指定值的节点。
   - **按位置查找**：查找链表中指定位置的节点。
4. **遍历操作**：
   - 从头节点开始，依次访问每个节点，直到尾节点。

第3章 栈、队列和数组

第4章 串

第5章 树和二叉树

第6章 图

第7章 查找

第8章 排序