# 定义

为了克服数组的缺点，引入了链表。

线性表是N个数据元素的有限序列。

说明：这里的数据元素可以是简单的一个变量，比如姓名，也可以是复杂的一个结构体，比如包含id，name，age的Person结构。

**特点：**

N个节点离散分配

彼此通过指针相连

每个节点只有一个前驱节点，每个节点只有一个后续节点

首节点没有前驱节点，尾节点没有后续节点

**专业术语：**

## 首节点

**首节点：**第一个有效的节点

## 尾节点

**尾节点：**最后一个有效的节点

## 头结点/哑节点/虚拟节点

**头结点：**在首节点前面添加的一个节点，头结点没有存放有效数据和有效节点个数，这样主要是**方便链表增删改查统一操作（否则需要单独考虑首节点的操作）**。

**头结点数据域一般无意义**，但也可以用来存放链表的长度（主要是用头结点的指针域获取首节点地址）。

**头结点不一定是链表的必需元素**。

### 哑节点

**为什么需要引入哑节点？**

这里涉及链表中节点删除的通用操作，对于非头节点而言，删除的操作就是将前一个节点的next指向当前节点的next即可，即：

Node1 -> CurNode ->Node2

* Nod1->next = Node2;

但是，如果是头节点，因为HeadNode没有前一个节点，因此它的删除操作并不适用上述操作，应该是：

HeadNode -> Node1

* HeadNode = HeadNode->next

因此，这里对于头节点和非头节点移除元素的操作是不一样的，主要原因在于头节点没有前驱节点，只能通过指针向后移动。那么在实际操作的时候，就需要判断节点类型分别执行不同删除操作。因此，这里引入一个虚拟头节点/哑节点，即作为头节点的前驱节点。

如果按照原来分别判断节点类型的方式，伪代码如下：

while(head!=nullptr && head->val == target)

head = head->next;

这里需要注意的是，下面写法是错误的：

if(head!=nullptr && head->val == target)

head = head->next;

我们这里是删除等于target值的节点，如果前面若干个节点的值都为target，那么就不只是删除第一个头节点，需要持续删除多个头节点了！！！

接下来，处理其他的非头节点：

curNode -> Node1 -> Node2

这里是需要从当前curNode开始判断curNode->next是否为target，如果是则需要curNode->next = Node1->next;，因此这里是需要从head节点逐步向后遍历，如下：

cur = head;

while(cur != nullptr && cur->next == nullptr) {

if (cur->next == target) {

cur->next = cur->next->next;

} else {

cur = cur->next;

}

}

return head;

完整代码：

class Solution {

public:

ListNode\* removeElements(ListNode\* head, int val) {

// 删除头结点

while (head != NULL && head->val == val) { // 注意这里不是if

ListNode\* tmp = head;

head = head->next;

delete tmp;

}

// 删除非头结点

ListNode\* cur = head;

while (cur != NULL && cur->next!= NULL) {

if (cur->next->val == val) {

ListNode\* tmp = cur->next;

cur->next = cur->next->next; // 或tmp->next

delete tmp;

} else {

cur = cur->next;

}

}

return head;

}

};

设置一个虚拟头结点在进行移除节点操作：

class Solution {

public:

ListNode\* removeElements(ListNode\* head, int val) {

ListNode\* dummyHead = new ListNode(0); // 设置一个虚拟头结点

dummyHead->next = head; // 将虚拟头结点指向head，这样方便后面做删除操作

ListNode\* cur = dummyHead;

while (cur->next != NULL) {

if(cur->next->val == val) {

ListNode\* tmp = cur->next;

cur->next = cur->next->next;

delete tmp;

} else {

cur = cur->next;

}

}

head = dummyHead->next; // 重新设置head，原来的head可能被删除了（即只有一个头节点的情况）

delete dummyHead;

return head;

}

};

说明：

这里的cur必须是指向dummyHead，而不是dummyHead->next，具体原因参考前面删除普通节点（非头节点）操作中的原理，即遍历cur的时候判断cur->next的value，查看是否需要删除（本质上是使用统一的规则）。

综上所述：

1、dummyNode作用是为了统一头节点和非头节点的统一操作

2、引入dummyNode后对于head的操作都是dummyNode->next，而不是直接返回原来的head：

1）原 head 可能已被删除

如果链表的第一个节点（即原 head）的值等于 val，它会被删除。此时原 head 指针指向的节点已经被释放，成为无效指针。如果直接 return head，返回的会是一个已被删除的节点地址，这是典型的野指针问题，会导致程序运行时错误。

2）dummyHead->next 才能确保指向新头

虚拟头节点 dummyHead 的设计目的之一，就是无论原头节点是否被删除，dummyHead->next 始终指向新的有效头节点：

如果原头节点没被删除，dummyHead->next 仍指向原 head；

如果原头节点被删除，dummyHead->next 会指向删除后的新头节点（可能是原 head 的下一个节点，也可能是 nullptr）。

## 头指针

**头指针：**指向链表第一个结点（可能是头结点）的指针变量，是链表的**必要元素**

头指针具有标识作用，所以常用头指针冠以链表的名字（指针变量的名字）

无论链表是否为空，**头指针均不为空。**

## 尾指针

**尾指针：**指向尾节点的指针变量

## 链表必要参数

**确定一个链表需要几个参数：**头指针（尾指针next置NULL即可）

# 分类

顺序表分类：

（1）顺序表：数组

（2）链表：静态链表，单链表，循环链表，双向链表

说明：顺序表带有下标，在遍历和寻址的时候速度快，即查找相关效率高；当插入或者删除元素的时候，需要移动数组中的元素，效率较低。

## 单链表

### 定义

单链表是单向的链表，链表的每个结点只包含一个指针域。

### 初始化

### 插入节点

### 删除节点

### 分析

## 双向链表

### 定义

双向链表的每一个节点由两个指针域和一个数据域组成，一个指针域是寻找头结点，一个是寻找尾节点。

### 初始化

// 双向链表节点定义

struct Node {

int data;

Node\* prev;

Node\* next;

Node(int val) : data(val), prev(nullptr), next(nullptr) {}

};

// 双向链表类

class DoublyLinkedList {

private:

Node\* head;

Node\* tail;

public:

// 初始化

DoublyLinkedList() : head(nullptr), tail(nullptr) {}

// 插入节点（尾插）

void insert(int val);

// 删除节点（按值删除第一个匹配项）

void remove(int val);

// 析构函数：释放内存

~DoublyLinkedList() {

Node\* current = head;

while (current) {

Node\* next = current->next;

delete current;

current = next;

}

}

};

### 插入

// 插入节点（尾插）

void insert(int val) {

Node\* newNode = new Node(val);

if (!head) { // 空链表

head = tail = newNode;

} else {

tail->next = newNode;

newNode->prev = tail;

newNode->next = nullptr;

tail = newNode;

}

}

### 删除

// 删除节点（按值删除第一个匹配项）

void remove(int val) {

Node\* current = head;

while (current) {

if (current->data == val) {

if (current->prev)

current->prev->next = current->next;

else

head = current->next; // 删除头节点

if (current->next)

current->next->prev = current->prev;

else

tail = current->prev; // 删除尾节点

delete current;

return;

}

current = current->next;

}

}

### 分析

## 循环链表

### 定义

循环链表与单链表不同的是，最后尾节点的指针域指向了第一个元素的数据域。

### 初始化

### 插入

### 删除

### 分析

## 双向循环链表

## 非循环链表

## 静态链表

### 定义

静态链表不使用链表，而是使用数组完成相关的操作。这种用数组描述链表的描述方法叫做游标实现法。

### 初始化

### 插入

### 删除

### 分析

## 松散链表

### 概述

与数组相比，链表的一项优点，就是它只需要花费O(1)级别的时间，即可在任意位置插入元素，然而要想在链表中搜索元素，则需要花费O(n)级别的时间。为了提升搜索效率，我们可以采用另一种方式实现单链表，这就是松散链表。

松散链表的每个大节点中都保存有多个元素，为了讨论方便，我们称这种大节点为块。每个这样的块，都是循环链表，用以将块内的各个小节点连接起来。

假设链表中的元素个数始终不超过n。为了简单起见，我们还假设，除了最后一块之外，前面各块中必须恰好包含√n个元素。这样的话，整个链表的块数，不会超过√n个。

### 操作

#### 查找元素

在松散链表中寻找第k个元素，需要花费O(√n)级别的时间。

#### 插入元素

#### 移动元素

### 性能

松散链表在速度与空间占用量方面都有优势。

1. 如果每一块内的元素个数设计得比较合理（例如，没有超过缓冲线的容量），那么就可以提升内存的局部性，也就是使得经常用到的这些元素在内存中能够离得比较近，这可以极大地提升缓存效果。
2. 在元素个数为n且每一块最多能保存m个元素的松散链表中，连接的数量是O(n/m)，因此可以节省很多空间。当元素本身占据的空间较小时，这种效果尤为明显。

### 对比

## 跳跃链表

### 概述

跳跃链表（skip list）是一种可以替代平衡二叉树的结构。与二叉树相比，这种链表能够迅速执行搜索、插入以及删除操作。它所达到的平衡是概率上的平衡，而不像平衡二叉树那样，是严格的平衡。这种链表，其实就是一份普通的链表，只不过其节点中还有一些指针，可以跳过链表中的某些元素而已。它采用随机数生成器来制定这些决策。

对于排好顺序的普通链表来说，其搜索、插入以及删除操作都需要耗费O(n)级别的时间，因为要把这些节点逐个扫描一遍才能找到相关的节点。如果能设法以较大的步伐来迈进，那么就可以减少扫描的开销，这正是跳跃链表的基本思路。

### 性能

如果插入的是随机数据，那么对于普通的二叉排序树来说，其搜索、插入以及删除效率比较高，可以达到O(logn)级别；但是如果输入的是排过序的数据，那么其效率则降为O(n)。然而对于跳跃链表而言，无论输入的是什么数据，这些操作的执行效率差不多都与随机构建的二叉树一样好，也就是都能达到O(logn)级别。

### 对比

简单地说，跳跃链表与排过序的普通链表相比，有两个区别：

1. 普通链表中的节点只有一个指针，也就是指向下一个节点的next指针。而跳跃链表中的节点可能包含多个指针，用以指向不同的节点，这些指针也成为提前引用（forward reference）。
2. 每个节点究竟拥有多少个提前是通过概率来决定的。

跳跃链表是分层的，每一层都有对应的提前引用。节点的层数也称为节点的大小。在普通的链表上面执行插入、删除以及查找操作，可能要把整个链表从头到尾扫描一遍，这需要花费O(n)级别的时间，然而在跳跃链表上面执行操作，只需花费O(logn)级别的时间，因为在遍历过程中，可以通过指针跳过其中的某些节点。

# 特点

链表的优缺点如下：

## 优点

**优点：**能够在常数时间内增长，而数组不能。

## 缺点

**缺点：**

1、访问单个元素花费的时间比较长；

2、在空间局部性上不如数组（分配给数组的内存是连续的）；

3、存储于获取数据时开销很大；

4、在某些情况下很难维护。

注：可以理解为数组适用于读操作多，链表适用于写操作多的场景。

# 存储

## 顺序存储

### 定义

#define MAX\_SIZE 128

typedef struct SqList{

int data[MAX\_SIZE]; //MAX\_SIZE是线性表的最大长度（数据域）

int length; //线性表需要一个变量标识当前长度（指针域）

}SqList;

注：**指针域length是必须的，防止出现越界访问**，链式存储中不需要设置，next指针指向的元素都是动态分配的，除非内存耗尽否则不存在越界访问。

### 初始化

SqList \*s; //访问成员变量s->data

SqList s; //访问成员变量s.data

### 获取元素

思路：将data数组的第i-1个字符赋值给指针型形参（注意必须是指针型的形参或引用），这样做可以获取输出

代码：

int SqListGetElement(SqList \*s,int i,int \*element){

if(s->length == 0 || i<1 || i>s->length)//对输入的参数进行检查

return -1;

\*element = s->data[i-1];

return 0;

}

注：也可以定义函数返回值类型为int\*，这样入参可以省去element。

### 插入元素

思路：先将元素依次向后移动1个位置，然后将待插入的数据放到数组的特定位置

代码：

int SqListInsertElement(SqList \*s,int i, int \*element){

int j=0;

if(s->length==MAX\_SIZE || i<1 || i>s->length+1)//线性表满了或i不在范围内

return -1;

if(i<s->length){ //插入位置不在表尾

for(j=i;j<s->length;j++){

s->data[j+1]=s->data[j]; //这种方式不对，会发生覆盖

}

}

改写为：

if(i<s->length){

**for(j=s->length-1;j>=i-1;j--){**

s->data[j+1]=s->data[j];

}

}

s->data[i] = \*element;

s->length++;

return 0;

}

### 删除元素

思路：先将指定元素删除，然后数组中元素依次向前移动1位

代码：

int SqListDeleteElement(SqList \*s, int i, int \*element){

int k;

if(s->length==0 || i<1 || i>s->length){

return -1;

}

\*element = s->data[i-1];

if(i<s->length)

{

for(k=i;k<s->length;k++){

**s->data[k-1]=s->data[k];** //向前移动

}

}

s->length--;

return 0;

}

### 分析

#### 时间复杂度

最好的情况，插入和删除操作刚好要求在最后一个位置操作，因为不需要移动任何元素，所以此时的时间复杂度为O(1)。

最坏的情况，如果要插入和删除的位置是第一个元素，那就意味着要移动所有的元素向后或者向前，所以这个时间复杂度为O(n)。

至于平均情况，就取中间值O((n-1)/2)，平均情况复杂度简化后是O(n)。

综上，线性表的顺序存储结构，在存、读数据时，不管是哪个位置，时间复杂度都是O(1)。而在插入或删除时，时间复杂度都是O(n)。

这说明，它比较适合元素个数比较稳定，不经常插入和删除元素，而更多的操作是存取数据的应用。

#### 空间复杂度

#### 优缺点

优点：

1、无需为表示表中元素之间的逻辑关系而增加额外的存储空间；

2、可以快速地存取表中任意位置的元素。

缺点：

1、插入和删除操作需要移动大量元素；

2、当线性表长度变化较大时，难以确定存储空间的容量；

3、容易造成存储空间的“碎片”（因为是一整块的申请，那么就容易造成存储块之间小块的内存被浪费）。

## 链式存储

### 定义

思路：链式存储即先定义一个独立的节点node（结点Node：数据域和指针域组成数据元素称为存储映像/结点），然后定义链表将节点串联起来，这就需要用到next指针。

代码：

typedef struct LinkListNode{

int data; //只表示一个元素，所以这里定义一个int而不是数组（数据域）

struct LinkListNode \*next;//存储下一个节点地址（指针域）

}LinkListNode; //结点（节点名称）

typedef struct LinkListNode \*LinkList; //指针型变量（**头指针**）

注：定义指针变量习惯\*放在右边，这是为了防止对于int\* i,j这种情况混淆。

或者：

typedef struct LinkListNode{

int data;

struct LinkListNode \*next;

}LinkListNode, \*LinkList; //这种定义方式比较好（推荐使用！）

或者：

typedef struct LinkListNode{

int data;

struct LinkListNode \*next;

}LinkListNode, \*LinkListPtr;

typedef struct LinkList{

LinkListPtr p;

int count;//这样定义不太合理，链式存储就没有必要设置当前长度length

}

### 初始化

LinkList \*l;

LinkList l;

### 创建链表

LinkList GenerateLinkList(int len)

LinkListPtr pHead = (LinkListPtr)malloc(sizeof(LinkListNode));

//申请内存，设置头指针

pHead ->next = NULL;

//生成链表中的各个节点

for(int i=0;i<len;i++)

{

LinkListPtr pNewNode = (LinkListPtr)malloc(sizeof(LinkListNode));

pNewNode->data = values;

pHead ->next = pNewNode;

pNewNode->next = NULL; //尾节点设置为NULL

}

注：采用这种方式其实是将新生成的节点pNewNode都挂载到pHead节点后面，而不是我们想象的最后一个节点后面。则可以定义一个指针，它永远指向最后一个节点，如下：

//头指针

LinkListPtr pHead = (LinkListPtr)malloc(sizeof(LinkListNode));

LinkListPtr pTail = pHead;

pTail->next = NULL; //必须清空指针域

//生成链表中的各个节点

for(int i=0;i<len;i++)

{

LinkListPtr pNewNode = (LinkListPtr)malloc(sizeof(LinkListNode));

pNewNode->data = values;

pTail->next = pNewNode;

pNewNode->next = NULL; //尾节点设置为NULL

pTail = pNewNode; //移动尾指针

}

### 整表创建

### 链表判空

LinkList p = pHead->next;

if(NULL == p)

{

trturn true;

}

### 是否有环

双指针

### 获取元素

**思路：**获取头指针，然后依次遍历链表，找到对应的第i个节点后返回

**代码：**

int LinkListGetElement(LinkList l, int i, int \*element){

//传引用而非指针LinkList \*l

int j=0;

LinkList p;//直接操作链表有危险，这里采用定义一个新的局部变量操作

j=1;

while(p && j<i){//依次遍历，更新指针位置

p=p->next;

j++;

}//掌握这种链表遍历的方法

if(!p||j>=i){

return -1;

}

\*element = p->data;

return 0;

}

分析：单链表的读取算法时间复杂度取决于i的位置，当i=1时，则不需要遍历，而i=n时则遍历n-1次才可以。因此最坏情况的时间复杂度为O(n)。

由于单链表中没有定义表长，所以不能实际知道要循环多少次，因此也就不方便使用for控制循环。

其核心思想叫做“工作指针后移”，这是很常用的技术。

### 链表长度

int ListLength(LinkList l)

{

LinkList tmp = l->next;

int len = 0;

while(NULL != tmp)

{

++len;

tmp = tmp->next;

}

return len;

}

### 插入元素

**思路：**插入需要新建一个节点（malloc分配），然后更新这个新节点的成员变量，即数据data和指针next，接着就是以前的节点与新节点建立联系，这就形成了一个新的链表。

**注意：**需要暂时保存next指针地址，防止被覆盖！

**代码：**

int LinkListInsertElement(LinkList l, int i, int \*element){

//这里定义LinkList l是指针类型，因前面已经定义为LinkListNode \*LinkList

//如果这里定义为LinkList \*l，则前面的定义就是LinkListNode LinkList

int j=0;

LinkList p,s;

//需要借助中间变量链表实现操作，

//1个用于接收形参链表，1个用于malloc新节点

j=1;

p=l->next; //头结点的下一个指针（next地址需要暂时保存！）

for(p && j<i){

p=p->next;

j++;

}

s=(LinkList)malloc(sizeof(LinkListNode));

//链表插入元素就需要新分配一个节点内存空间，然后更新指针的指向

s->data=\*element;

s->next=p->next;//更新这个新节点的成员变量

p->next=s;//建立节点的关联

return 0;

}

注：对于p后新增结点q的添加，可以采用如下方法：

1、使用临时变量

r = p->next;

p->next = q;

q->next = r;

2、不使用临时变量

q->next = p->next;

p->next = q;

### 删除元素

**思路：**暂时保存指针，放置删除节点后，next后续出现断链。

**代码：**

int LinkListDeleteElement(LinkList l, int i, int \*element){

int j=0;

LinkList p,q;//插入和删除都需要借助中间变量的一个节点完成

j=1;

p=l->next;

while(p && j<i){

p=p->next;

j++;

}//确定删除节点的位置

**q**=p->next;//待删除的节点（需要暂存该节点，否则出现断链）

\*element=q->data;//待删除节点的形参

p->next=q->next;//待删除节点的指针

free(q);//释放掉这个节点，删除的就不需要了

return 0；

}

分析：单链表的插入和删除时间复杂度都是O(n)。

注：以下几种错误需要格外注意

1、删除p所指结点后面结点：p->next = p->next->next;

错误，这样p->next会内存泄露，并没有完全释放

2、delete p->next;/free p->next;

错误，链表被破坏，断链了；该节点后面的结点都找不到了

应该采用临时变量：即先临时定义一个指向p后面结点的指针r

r = p->next; //r指向p后面的那个结点

p->next = r->next; //更新下一个结点

delete r;/free r; //这样p->next已经处理好，不会断链

关于链表插入和删除的注意事项：

1、特殊处理链表为空，或者链表长度为1的情况；

2、注意插入操作的调整过程；

3、注意删除操作的调整过程；

注意点：头尾节点及空节点需要特殊考虑。

双链表的插入与删除和单链表类似，但是需要额外考虑previous指针的指向。

### 整表删除

### 清空

### 销毁

void DestroyLinkList(LinkList \*list)

{

LinkList p,q;

p = \*list;

while(p){

q = p->next;

free(p);

p = q;

}

\*list = NULL;

}

注：最后需要将\*list的内容置为NULL，这样主函数中的链表就为空，放置list称为野指针。

### 分析

单链表读取、插入和删除时间复杂度都是O(n)。

如果在我们不知道第i个元素的指针位置，单链表数据结构在插入和删除操作上，与线性表的顺序存储结构是没有太大优势的。

但是，如果我们希望从第i个位置开始，插入连续10个元素，对于顺序存储结构意味着，每一次插入都需要移动n-i个位置，所以每次都是O(n)。

而对于单链表，我们只需要在第一次时，找到第i个位置的指针，此时为O(n)，接下来只是简单地通过赋值移动指针而已，时间复杂度都是O(1)。

显然，对于插入和删除数据越频繁的操作，单链表的效率优势就越明显。

# 无锁链表

无锁链表（Lock-Free Linked List）是一种不依赖互斥锁或其他阻塞同步机制，仅通过原子操作（如CAS，Compare-And-Swap）实现多线程安全访问的链表数据结构。其核心是利用CPU提供的原子指令保证并发操作的正确性，避免锁竞争带来的性能开销。

## 基本原理

无锁链表的实现依赖原子操作和内存序控制，核心是通过CAS操作解决并发场景下的节点插入、删除和遍历问题。以单向链表为例，关键操作的实现逻辑如下：

### 节点结构

template <typename T>

struct Node {

T data;

std::atomic<Node\*> next; // 原子指针，指向后继节点

Node(const T& val) : data(val), next(nullptr) {}

};

- 用std::atomic<Node\*>定义next指针，确保对指针的修改是原子操作。

### 插入操作（头部插入为例）

template <typename T>

void LockFreeList<T>::push(const T& val) {

Node<T>\* new\_node = new Node<T>(val);

do {

new\_node->next = head.load(std::memory\_order\_relaxed); // 读取当前头节点

} while (!head.compare\_exchange\_weak(

new\_node->next, // 预期的当前头节点

new\_node, // 新节点成为新头

std::memory\_order\_release, // 成功时的内存序

std::memory\_order\_relaxed // 失败时的内存序

));

}

- 核心逻辑：通过CAS循环尝试将新节点插入头部。若期间头节点被其他线程修改（new\_node->next与实际头节点不一致），则重试直到成功。

### 删除操作（按值删除为例）

template <typename T>

bool LockFreeList<T>::erase(const T& val) {

Node<T>\* prev = head.load(std::memory\_order\_acquire);

while (prev) {

Node<T>\* curr = prev->next.load(std::memory\_order\_acquire);

if (curr && curr->data == val) {

// 尝试将prev的next指向curr的next

if (prev->next.compare\_exchange\_weak(

curr, curr->next.load(std::memory\_order\_relaxed),

std::memory\_order\_release,

std::memory\_order\_relaxed

)) {

delete curr; // 释放节点

return true;

}

} else {

prev = curr; // 移动到下一个节点

}

}

return false;

}

- 核心逻辑：遍历链表找到目标节点后，通过CAS修改前驱节点的next指针，跳过目标节点实现删除。若期间前驱节点的`next`被修改，则重试。

### 解决ABA问题

ABA问题是无锁编程的典型挑战：节点A被删除后又重新插入，CAS会误判指针未变。解决方案包括：

- 版本号标记：将指针与版本号组合（如std::atomic<std::pair<Node\*, int>>），每次修改递增版本号。

- Hazard Pointers：跟踪被访问的节点，确保删除前节点未被其他线程引用。

## 优缺点

### 优点

1、高并发性能

避免锁竞争导致的线程阻塞和上下文切换，在多线程高频访问场景下（如高并发队列），吞吐量显著高于有锁链表。

2、实时性好

无锁操作不会导致线程无限期阻塞，适合对响应时间敏感的场景（如实时数据处理）。

3、资源利用率高

线程无需等待锁释放，可充分利用CPU核心，尤其适合多核处理器环境。

### 缺点

1、实现复杂度极高

- 需处理CAS循环、ABA问题、内存序（如acquire/release）等细节，逻辑稍不注意就会导致数据不一致。

- 节点删除的内存管理复杂（需确保其他线程不再引用被删节点），可能引入内存泄漏或悬垂指针。

2、高冲突下的性能退化

当线程竞争激烈时，CAS操作会频繁失败并重试，导致CPU资源浪费（活锁风险），性能可能反不如有锁实现。

3、调试困难

并发问题（如偶发的节点丢失、遍历异常）难以复现和定位，依赖专门的并发调试工具（如TSan）。

4、功能局限性

不适合实现复杂链表操作（如双向链表的反向遍历、范围删除），此类操作的无锁实现逻辑过于复杂。

## 适用场景

无锁链表适合读多写少、冲突率低且对性能要求极高的场景，典型包括：

1、高并发队列/栈

如生产者-消费者模型中的任务队列，频繁的入队/出队操作可通过无锁链表提升吞吐量（如Disruptor框架的核心数据结构）。

2、缓存系统

对缓存项的插入、删除操作（如LRU缓存的链表更新），无锁实现可减少锁竞争带来的延迟。

3、实时数据采集

如高频交易系统中，实时接收并处理大量订单，无锁链表可保证数据处理的低延迟和高吞吐。

4、内核态数据结构

操作系统内核中的链表（如进程调度队列），需避免锁导致的内核态阻塞，无锁实现是更安全的选择。

## 总结

无锁链表通过原子操作实现多线程安全，在高并发低冲突场景下性能优势明显，但实现复杂度高、调试困难，且高冲突时可能出现性能退化。实际开发中，应优先使用经过验证的无锁库（如C++的folly::ConcurrentLinkedList），而非手动实现。对于冲突率高或操作复杂的场景，有锁链表（如std::mutex保护的链表）仍是更务实的选择。

# 工业级实现

## 无锁并发链表

### folly::ConcurrentLinkedList（Facebook Folly 库）

特点：无锁双向链表，基于 CAS 操作和 Hazard Pointers 机制解决内存安全问题，支持泛型类型。

核心优势：

完全无锁设计，支持高并发场景下的插入、删除和遍历操作。

内置内存回收机制（Hazard Pointers），避免悬垂指针和内存泄漏。

提供迭代器支持，可安全遍历并发修改的链表。

适用场景：高吞吐量的日志收集、事件队列、动态数据集合等。

仓库地址：<https://github.com/facebook/folly>

### moodycamel::ConcurrentQueue（Moodycamel 库）

特点：虽然主要设计为队列，但底层基于无锁链表实现，支持高效的 FIFO 操作，可视为特殊的单链表。

核心优势：

极致优化的无锁算法，在高并发场景下吞吐量远超标准库。

支持多生产者 - 多消费者模型，无锁竞争瓶颈。

内存布局优化，缓存友好，适合高频操作。

适用场景：多线程任务队列、消息传递系统、日志缓冲等。

仓库地址：<https://github.com/cameron314/concurrentqueue>

## 有锁并发链表

### tbb::concurrent\_linked\_list（Intel TBB 库）

特点：Intel 线程构建块库中的并发链表，采用细粒度锁（节点级锁）而非全局锁，平衡安全性和性能。

核心优势：

支持高效的插入、删除和查找，锁竞争范围小。

提供 STL 风格的迭代器和算法，易用性强。

经过工业级验证，稳定性和兼容性极佳。

适用场景：中等并发强度的动态数据管理（如缓存、会话列表）。

仓库地址：<https://github.com/oneapi-src/oneTBB>

### absl::container::LinkedList（Google Abseil 库）

特点：Google Abseil 库提供的非并发链表，但可配合absl::Mutex轻松实现线程安全，适合对并发强度要求不高的场景。

核心优势：

内存高效，节点布局紧凑，适合存储大量小对象。

与 Abseil 的同步原语（如absl::Mutex）无缝集成。

兼容 STL 接口，迁移成本低。

适用场景：低并发场景下的动态数据结构（如配置项列表、临时缓存）。

仓库地址：<https://github.com/abseil/abseil-cpp>

## 单向 / 双向链表（非并发但工业级）

如果不需要并发支持，但需要工业级的稳定性和性能，以下链表实现同样优秀：

### std::list（C++ 标准库）

特点：标准库内置的双向链表，虽然不支持并发，但经过极致优化，稳定性和兼容性无可替代。

优势：跨平台、接口标准化、异常安全，适合单线程或手动加锁的场景。

### boost::intrusive::list（Boost 库）

特点：侵入式链表，节点无需额外内存分配，直接嵌入用户自定义类型，内存效率极高。

优势：适合高性能场景（如内核态编程、嵌入式系统），支持自定义钩子和内存管理。

仓库地址：<https://www.boost.org/doc/libs/release/doc/html/intrusive.html>

## 选择建议

高并发场景：优先选择folly::ConcurrentLinkedList（通用无锁链表）或moodycamel::ConcurrentQueue（队列场景），它们在多核 CPU 上表现优异。

中等并发场景：tbb::concurrent\_linked\_list更易使用，且锁竞争控制得当，适合大多数业务场景。

单线程 / 低并发场景：std::list（标准库）或absl::container::LinkedList（Google 生态）足够可靠，维护成本低。

内存敏感场景：boost::intrusive::list的侵入式设计可减少内存开销，适合资源受限环境。

# 应用

链表的基本应用包括：遍历（判断是否有环，旋转），翻转（单链表翻转，区间翻转），逆序，复制，删除（删除K个，删除重复），排序，合并，拆分。

链表问题代码实现注意事项：

1、链表调整函数的返回值类型，根据要求往往返回值是节点类型；

2、处理链表过程中，先采用画图的方式理清逻辑（防止出现断链）；

3、链表问题对于边界条件讨论要求严格。

关于链表插入和删除的注意事项：

1、特殊处理链表为空，或者链表长度为1的情况；

2、注意插入操作的调整过程；

3、注意删除操作的调整过程。

**注意点：**头尾节点及空节点需要特殊考虑。

双链表的插入与删除和单链表类似，但是需要额外考虑previous指针的指向。

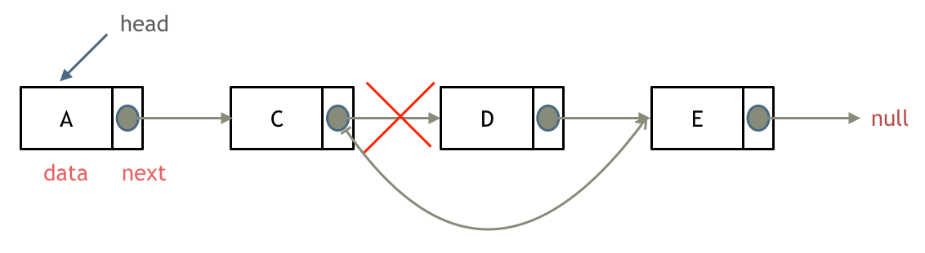
1、大量链表问题可以使用额外数据结构来简化调整过程；

2、但是**链表问题最优解往往是不使用额外数据结构的方法**。

## 设计链表

思路：

删除链表节点：



添加链表：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

链表操作的两种方式：

1、直接使用原来的链表来进行操作。

2、设置一个虚拟头结点在进行操作。

下面采用的设置一个虚拟头结点：

class MyLinkedList {

public:

// 定义链表节点结构体

struct LinkedNode {

int val;

LinkedNode\* next;

LinkedNode(int val):val(val), next(nullptr){}

};

// 初始化链表

MyLinkedList() {

\_dummyHead = new LinkedNode(0); // 这里定义的头结点 是一个虚拟头结点，而不是真正的链表头结点

\_size = 0;

}

// 获取到第index个节点数值，如果index是非法数值直接返回-1， 注意index是从0开始的，第0个节点就是头结点

int get(int index) {

if (index > (\_size - 1) || index < 0) {

return -1;

}

LinkedNode\* cur = \_dummyHead->next;

while(index--){ // 如果--index 就会陷入死循环

cur = cur->next;

}

return cur->val;

}

// 在链表最前面插入一个节点，插入完成后，新插入的节点为链表的新的头结点

void addAtHead(int val) {

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

newNode->next = \_dummyHead->next;

\_dummyHead->next = newNode;

\_size++;

}

// 在链表最后面添加一个节点

void addAtTail(int val) {

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while(cur->next != nullptr){

cur = cur->next;

}

cur->next = newNode;

\_size++;

}

// 在第index个节点之前插入一个新节点，例如index为0，那么新插入的节点为链表的新头节点。

// 如果index 等于链表的长度，则说明是新插入的节点为链表的尾结点

// 如果index大于链表的长度，则返回空

// 如果index小于0，则在头部插入节点

void addAtIndex(int index, int val) {

if(index > \_size) return;

if(index < 0) index = 0;

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while(index--) {

cur = cur->next;

}

newNode->next = cur->next;

cur->next = newNode;

\_size++;

}

// 删除第index个节点，如果index 大于等于链表的长度，直接return，注意index是从0开始的

void deleteAtIndex(int index) {

if (index >= \_size || index < 0) {

return;

}

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while(index--) {

cur = cur ->next;

}

LinkedNode\* tmp = cur->next;

cur->next = cur->next->next;

delete tmp;

//delete命令指示释放了tmp指针原本所指的那部分内存，

//被delete后的指针tmp的值（地址）并非就是NULL，而是随机值。也就是被delete后，

//如果不再加上一句tmp=nullptr,tmp会成为乱指的野指针

//如果之后的程序不小心使用了tmp，会指向难以预想的内存空间

tmp=nullptr;

\_size--;

}

// 打印链表

void printLinkedList() {

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while (cur->next != nullptr) {

cout << cur->next->val << " ";

cur = cur->next;

}

cout << endl;

}

private:

int \_size;

LinkedNode\* \_dummyHead;

};

说明：

在添加节点的时候，为了与删除节点统一操作，可以将 cur 的初始值设为 \_dummyHead，只需调整循环的执行次数即可，具体修改如下：

当cur初始化为 \_dummyHead 时，需要循环 index + 1 次才能到达目标节点，因为：

- \_dummyHead 是虚拟头节点，位于真正头节点的前一个位置

- 从虚拟头节点开始，需要多走一步才能才能到达索引为 0 的节点

修改后的代码如下：

int get(int index) {

if (index > (\_size - 1) || index < 0) {

return -1;

}

LinkedNode\* cur = \_dummyHead; // 初始化为虚拟头节点

for (int i = 0; i <= index; i++) { // 循环 index + 1 次

cur = cur->next;

}

return cur->val;

}

两种实现方式的对比：

1、初始化为dummyHead->next 时，循环index次（从真实头节点开始）

2、初始化为dummyHead时，循环index + 1次（从虚拟头节点开始）

两种方法逻辑等价，最终都能正确定位到目标索引的节点，只是遍历的起点和次数不同而已。使用 for 循环替代 while 循环可以更清晰地控制循环次数，避免因 index-- 和 --index 的区别而产生混淆。

## 链表遍历

代码：

#include <iostream>

using namespace std;

typedef struct list\_node ListNode;

struct list\_node

{

struct list\_node\* next;

int value;

};

/\*

初始化List 将从1~n的数字插入到链表中

\*/

void Init\_List(ListNode\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

ListNode\* tmp;

ListNode\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new ListNode;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

void print\_list(ListNode\* list)

{

ListNode\* tmp = list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

### 求单链表节点个数

//求单链表中节点的个数

int GetListLength(ListNode\* phead)

{

if(phead == NULL)

return 0;

int length = 0;

ListNode\* current = phead;

while(current != NULL)

{

length++;

current = current->next;

}

return length;

}

如何判断链表的总结点数是奇数还是偶数？

采用每次移动两个节点的指针来判断。如果该指针最后指向的是NULL，那么说明总节点数为偶数；若指向链表的最后一个节点，则说明总节点数为奇数。

class Solution {

public:

    int IsLinkedListLengthEven(ListNode\* head) {

        while(head && head->next)

        {

            head = head->next->next;

        }

        if(!head)

            return 0;

        return 1;

    }

};

### 递归方式求链表长度

//递归的方法求解链表的长度

int Len\_list(ListNode\* list)

{

if(list == NULL)

return 0;

else

return Len\_list(list->next)+1;

}

### 环形链表/判断单链表中是否有环

**题目一：**已知链表中可能存在环，若有环返回环起始节点，否则返回NULL。



注：Leetcode 141

**题目二：**为了表示给定链表的环，我们使用整数pos来表示链表尾连接到链表中的位置（索引从0开始），结果pos是-1，则在该链表中没有环。

**分析：**

思路1：使用set求环起始节点

1、遍历链表，将链表中节点对应的指针（地址），插入set；

2、在遍历时插入节点前，需要在set中查找，第一个在set中发现的节点地址，即是链表环的起点。



思路2：使用快慢指针（双指针），如果链表中有环，则一定会相遇。















**代码：**

#### 方法一：set



#### 方法二：双指针/快慢指针



**另外一种：**

//判断单链表中是否有环

bool HasCircle(ListNode\* phead)

{

ListNode\* pfast = phead;//快指针每次前进两步

ListNode\* pslow = phead;//慢指针每次前进一步

while(pfast!=NULL&& pfast->next != NULL)

{

pfast = pfast->next->next;

pslow = pslow->next;

if(pslow == pfast)

return true;

}

return false;

}

**测试：**



### 环形链表入口

思路：

代码：

/\*\*

\* Definition for singly-linked list.

\* struct ListNode {

\* int val;

\* ListNode \*next;

\* ListNode(int x) : val(x), next(NULL) {}

\* };

\*/

class Solution {

public:

ListNode \*detectCycle(ListNode \*head) {

ListNode\* fast = head;

ListNode\* slow = head;

while(fast != NULL && fast->next != NULL) {

slow = slow->next;

fast = fast->next->next;

// 快慢指针相遇，此时从head 和 相遇点，同时查找直至相遇

if (slow == fast) {

ListNode\* index1 = fast;

ListNode\* index2 = head;

while (index1 != index2) {

index1 = index1->next;

index2 = index2->next;

}

return index2; // 返回环的入口

}

}

return NULL;

}

};

### 旋转链表

注：Leetcode 61

### [链表的中间结点](https://leetcode-cn.com/problems/middle-of-the-linked-list)

### 链表的倒数第k个节点

### [回文链表](https://leetcode-cn.com/problems/palindrome-linked-list)

### 寻找节点

1、寻找与模除有关的节点

编写函数，以便根据整数常量k，在包含n个元素的单链表中，寻找序号最大，且该序号又能为k所整除的那个节点。如果n=19,且k=3，那么就返回第18个节点。

代码：

### 两链表交点

**题目：**已知链表A的头节点指针headA，链表B的头节点指针headB，两个链表相交，求两链表交点对应的节点。



注：Leetcode 160



1、如果两个链表没有交点，则返回NULL；

2、在求交点的过程中，不可以破坏链表的结构或者修改链表的数据域；

3、可以确保传入的链表A与链表B没有任何环；

4、实现算法尽可能使时间复杂度O(n)，空间复杂度O(1)

**思路：**

**方法一：**

可以利用STL的set实现：



1、遍历链表A，将A中节点对应的指针（地址），插入set；

2、遍历链表B，将B中节点对应的指针（地址），在set中查找，发现在set中的第一个节点地址，即是两个链表的交点。



注：存入set的是地址而不是值域，我们判断的是交点，交点即同一个地址上的数据。

分析：时间复杂度O(nlogn)，空间复杂度O(n)。

**方法二：**

方法一比较简单，但是并不是最优的，可以使用基于数学的方法，实现空间复杂度O(1)。

步骤1：计算headA链表长度，计算headB链表长度，较长的链表多出的长度



步骤2：将较长的链表的指针移动到和较短链表指针对齐的位置：



步骤3：headA与headB同时移动，当两指针指向同一个节点时，即找到了



**代码：**

**方法一：**利用set集合特性求交集



**方法二：**



**测试：**



## 链表节点查找

### 带环的单链表中入环的第一个节点

题目要求：在一个存在环的单链表中，查找进入环的第一个节点。

代码：

//已知一个单链表中存在环，求进入环中的第一个节点

ListNode\* GetFirstNodeInCircle(ListNode\* phead)

{

if(phead == NULL || phead->next == NULL)

{

return NULL;

}

ListNode\* pfast = phead;

ListNode\* pslow = phead;

//先判断是否存在环

while(pfast != NULL && pfast->next != NULL)

{

pslow = pslow->next;

pfast = pfast->next->next;

if(pslow == pfast)

break;

}

if(pfast == NULL || pfast->next == NULL)

return NULL;

//如果存在环，快慢指针都以同样的速度前进，相遇即为第一个节点

pfast = phead;

while(pslow != pfast)

{

pslow= pslow->next;

pfast = pfast->next;

}

return pslow;

}

//按照一定的要求删除链表中的节点

typedef boolk (\*remove\_fn)(ListNode\* node);

ListNode\* remove\_if(ListNode\* head,remove\_fn rm)

{

for(ListNode\* prev= NULL,\*curr = head;curr != NULL)

{

ListNode\* next = curr->next;

if(rm(curr))

{

if(prev)

prev->next = next;

else

head= next;

delete curr;

}

else

prev= curr;

curr = next;

}

return head;

}

// 升级版(使用二级指针删除单链表中的节点)

void remove\_if(ListNode\*\* head,remove\_if rm)

{

for(ListNode\*\* curr = head;\*curr;)

{

ListNode\* entry = \*curr;

if(rm(entry))

{

\*curr = entry->next;

delete entry;

}

else

curr = &entry->next;

}

} //仔细体味！

## 链表翻转

参考：

[代码随想录-翻转链表](https://programmercarl.com/0206.%E7%BF%BB%E8%BD%AC%E9%93%BE%E8%A1%A8.html#%E7%AE%97%E6%B3%95%E5%85%AC%E5%BC%80%E8%AF%BE)

### 链表翻转

手机屏幕截图

AI 生成的内容可能不正确。

**代码（两种方法对比）：**

图形用户界面, 应用程序

AI 生成的内容可能不正确。

手机屏幕截图

AI 生成的内容可能不正确。

#### 链表逆序（就地逆置法）

**题目：**已知链表头节点指针head，将链表逆序（不可申请额外空间）。

注：Leetcode 206（该种方法很重要！）

文本

AI 生成的内容可能不正确。

**思路：**依次遍历链表节点，每遍历一个节点即逆置一个节点

文本

AI 生成的内容可能不正确。

循环1次：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

循环2次：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

循环3次：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

循环4次：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

循环5次：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

例如如果需要对如下场景做逆序：

应用程序

AI 生成的内容可能不正确。

图示

AI 生成的内容可能不正确。 需要分别执行以下操作：

注：因为需要修改原始链表head的next指针，所以需要暂时保存next指针。

**代码：**

图形用户界面, 应用程序

AI 生成的内容可能不正确。

注：代码实际上就是移动head和new\_head的指针。

**测试：**

图形用户界面, 文本, 应用程序

AI 生成的内容可能不正确。

**扩展：**

//翻转单链表

ListNode\* ReverseList(ListNode\* phead)

{

//如果单链表为空或者只有一个节点，无需翻转，直接返回头节点

if(phead == NULL | phead->next == NULL)

return phead;

ListNode\* preverse = NULL;

//翻转后的新链表头指针，初始化为NULL

ListNode\* current = phead;

while(current != NULL)

{

ListNode\* temp = current;

current = current->next;

temp->next = preverse;

//将当前节点记录，插入新链表的最前端

preverse = temp;

}

return preverse;

}

int main()

{

int array[]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10};

ListNode\* list;

Init\_List(list,array,sizeof(array)/sizeof(int));

print\_list(list);

list = ReverseList(list);

print\_list(list);

return 0;

}

拓展：单链表和双链表的翻转（参考MariaDB的源码）。

#### 反转链表（头插法）

注：LeetCode 206（这个与前面的整个链表逆序一样，方法不同）

思路：

首先定义一个cur指针，指向头结点，再定义一个pre指针，初始化为null。

然后就要开始反转了，首先要把 cur->next 节点用tmp指针保存一下，也就是保存一下这个节点。

为什么要保存一下这个节点呢，因为接下来要改变 cur->next 的指向了，将cur->next 指向pre ，此时已经反转了第一个节点了。

接下来，就是循环走如下代码逻辑了，继续移动pre和cur指针。

最后，cur 指针已经指向了null，循环结束，链表也反转完毕了。 此时我们return pre指针就可以了，pre指针就指向了新的头结点。

代码：

class Solution {

public:

ListNode\* reverseList(ListNode\* head) {

ListNode\* temp; // 保存cur的下一个节点

ListNode\* cur = head;

ListNode\* pre = NULL;

while(cur) {

temp = cur->next; // 保存一下 cur的下一个节点，因为接下来要改变cur->next

cur->next = pre; // 翻转操作

// 更新pre 和 cur指针

pre = cur;

cur = temp;

}

return pre;

}

};

递归方法：

递归法相对抽象一些，但是其实和双指针法是一样的逻辑，同样是当cur为空的时候循环结束，不断将cur指向pre的过程。

关键是初始化的地方，可能有的同学会不理解， 可以看到双指针法中初始化 cur = head，pre = NULL，在递归法中可以从如下代码看出初始化的逻辑也是一样的，只不过写法变了。

具体可以看代码（已经详细注释），双指针法写出来之后，理解如下递归写法就不难了，代码逻辑都是一样的。

代码：

class Solution {

public:

ListNode\* reverse(ListNode\* pre,ListNode\* cur){

if(cur == NULL) return pre;

ListNode\* temp = cur->next;

cur->next = pre;

// 可以和双指针法的代码进行对比，如下递归的写法，其实就是做了这两步

// pre = cur;

// cur = temp;

return reverse(cur,temp);

}

ListNode\* reverseList(ListNode\* head) {

// 和双指针法初始化是一样的逻辑

// ListNode\* cur = head;

// ListNode\* pre = NULL;

return reverse(NULL, head);

}

};

### 反转部分链表

#### 单链表中区间节点的翻转/翻转链表II

题目要求：在一个单链表中，给定两个值m和n，翻转该链表中m到n这段区间的节点。

例如给定一个单链表：1->2->3->4->5->NULL

如果给定值m=2andn=4，操作之后返回的链表为1->4->3->2->5->NULL

另一种描述：

给你单链表的头指针 head 和两个整数 left 和 right ，其中 left <= right 。请你反转从位置 left 到位置 right 的链表节点，返回 反转后的链表 。

注：LeetCode 92

代码：

#include <iostream>

#include <vector>

#include <string>

using namespace std;

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

int value;

struct list\_node\* next;

};

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

将链表中的第m个节点到第n个节点之间的元素进行翻转

\*/

void ReverseList(List\*& list,int m,int n)

{

if(list == NULL ||list->next == NULL || n-m<1)

return ;

int num =1;

List\* pre,\*next,\*cur,\*temp,\*tmp;

cur = list;

pre = NULL;

while(cur != NULL)

{

next = cur->next;

if(num < m)

{

pre = cur;

cur = next;

}

if(num == m)

{

tmp = cur;

temp = cur;

cur = next;

}

if(num >m && num <= n)

{

cur->next = temp;

temp = cur;

cur = next;

}

if(num == n)

{

if(m ==1)

list = temp;

else

pre->next = temp;

tmp->next = cur;

break;

}

num++;

}

}

int main()

{

int array[]={5,1,2,7,8,4,3,6,10,9};

List\* list ;

Init\_List(list,array,sizeof(array)/sizeof(int));

ReverseList(list,1,3);

print\_list(list);

return 0;

}

#### 指定位置逆序

**题目：**已知链表头结点指针head，将链表从位置m到n逆序（不申请额外空间）。



注：Leetcode 92

**思路：**



逆置段头结点（2）的前驱（1）：逆置后该前驱节点不再指向逆置段头结点（2），而是指向逆置段尾节点（4）。

逆置前头结点/逆置后尾节点（2）：从哪里开始逆置，逆置后指向逆置段尾节点后继（5）。

逆置前尾节点/逆置后头结点（4）：需要将逆置前头结点前驱（1）指向该节点。

逆置段尾节点的后继（5）：作为逆置后尾节点（2）的后继。

步骤1：将head向前移动m-1（1）个位置（从1移动到2），找到开始逆置的节点，记录该节点前驱（pre\_head）、该节点（head），将逆序前头结点head存储在modify\_list\_tail中，逆置后指向后继5：



步骤2：从head节点开始，逆置节点



步骤3：将pre\_head与new\_head连接，modify\_list\_tail与head连接



**思考：**

1. 最终结果应该返回哪个节点？
2. 如果m=1，有什么特殊的？

**代码：**



**测试：**



#### 反转链表II

反转从位置 m 到 n 的链表。请使用一趟扫描完成反转。

**说明:**

1 ≤m≤n≤ 链表长度。

注：LeetCode 92

分析：

### 分组反转

#### 单链表的K翻转

题目要求：在一个单链表中，给定一个值K，使得每K个节点都进行一次翻转。

例如给定一个单链表：1🡪2🡪3🡪4🡪5

如果给定K=2，操作之后返回的链表为2🡪1🡪4🡪3🡪5

如果给定K=3，操作之后返回的链表为3🡪2🡪1🡪4🡪5

代码：

#include <iostream>

#include <vector>

using namespace std;

/\*

按照要求做K翻转

\*/

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

int value;

struct list\_node\* next;

};

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

翻转链表List 使得新的头部为Head，新的尾部为tail

\*/

void Reverse\_list(List\*& list,List\*& head,List\*& tail)

{

if(list == NULL || list->next == NULL)

return;

head = list;

tail = list;

List\* cur = NULL;

List\* next;

while(head != NULL)

{

next = head->next;

head->next = cur;

cur = head;

head = next;

}

list= cur;

head = cur;

}

/\*

做K个节点的翻转

\*/

void Reverse\_k(List\*& list,int k)

{

int num =1;

int flag =1;

if(list == NULL ||list->next == NULL || k ==0)

return ;

List\* head,\*tail,\*next,\*pre;

head = list;

tail= list;

while(tail != NULL && tail->next != NULL)

{

tail = tail->next;

num++;

if(num == k)

{

if(tail != NULL)

{

next = tail->next;

tail->next = NULL;

}

else

next = NULL;

Reverse\_list(head,head,tail);

if(flag)

{

list = head;

flag =0;

pre = tail;

}

else//第二次之后的翻转

{

pre->next = head;

pre = tail;

}

head = next;

tail = next;

num =1;

}

}

pre->next = head;

}

List\* Reverse(List\* pre,List\* end)

{

if(pre == NULL || pre->next == NULL)

return pre;

List\* head = pre->next;

List\* cur = pre->next->next;

while(cur != end)

{

List\* next = cur->next;

cur->next = pre->next;

pre->next = cur;

cur = next;

}

head->next = end;

return head;

}

//另一种比较简单的方法

List\* Reverse\_K(List\* head,int k)

{

if(head == NULL)

return NULL;

List\* dummy = new List;

dummy->next = head;

int count =0;

List\* pre = dummy;

List\* cur = head;

while(cur != NULL)

{

count++;

List\* next = cur->next;

if(count == k)

{

pre = Reverse(pre,next);

count =0;

}

cur = next;

}

return dummy->next;

}

int main()

{

int array[]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11};

List\* list,\*head,\*tail;

Init\_List(list,array,sizeof(array)/sizeof(int));

list = Reverse\_K(list,3);

print\_list(list);

return 0;

}

#### K 个一组翻转链表

给你一个链表，每k个节点一组进行翻转，请你返回翻转后的链表。

k是一个正整数，它的值小于或等于链表的长度。

如果节点总数不是k的整数倍，那么请将最后剩余的节点保持原有顺序。

进阶：

你可以设计一个只使用常数额外空间的算法来解决此问题吗？

你不能只是单纯的改变节点内部的值，而是需要实际进行节点交换。

注：LeetCode 25

### 旋转链表

给你一个链表的头节点 head ，旋转链表，将链表每个节点向右移动 k 个位置。

注：LeetCode 61

解题思路：这种需要移动K位置的可以采用快慢指针。

## 链表逆序

### 两两交换链表节点

给你一个链表，两两交换其中相邻的节点，并返回交换后链表的头节点。你必须在不修改节点内部的值的情况下完成本题（即，只能进行节点交换）。

注：Leetcode 24

解题思路：采用迭代的方法模拟。

采用dummyNode思路：

初始时，cur指向虚拟头结点，然后进行如下三步：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

操作之后，链表如下：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

看这个可能就更直观一些了：

门上的瓷砖

AI 生成的内容可能不正确。

代码：

class Solution {

public:

ListNode\* swapPairs(ListNode\* head) {

ListNode\* dummyHead = new ListNode(0); // 设置一个虚拟头结点

dummyHead->next = head; // 将虚拟头结点指向head，这样方便后面做删除操作

ListNode\* cur = dummyHead;

while(cur->next != nullptr && cur->next->next != nullptr) {

ListNode\* tmp = cur->next; // 记录临时节点

ListNode\* tmp1 = cur->next->next->next; // 记录临时节点

cur->next = cur->next->next; // 步骤一

cur->next->next = tmp; // 步骤二

cur->next->next->next = tmp1; // 步骤三

cur = cur->next->next; // cur移动两位，准备下一轮交换

}

ListNode\* result = dummyHead->next;

delete dummyHead;

return result;

}

};

## 单链表排序

### 单链表的排序

题目要求：

代码：

#include <iostream>

#include <vector>

using namespace std;

/\*

对于链表的排序 使用归并排序最好

\*/

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

struct list\_node\* next;

int value;

};

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

初始化List 将从1~n的数字插入到链表中

\*/

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

//求链表长度

int Len\_list(List\* list)

{

if(list == NULL)

return 0;

else

return Len\_list(list->next)+1;

}

void FindMid(List\*& list,List\*& pre,List\*& last)

{

pre = list;

last = list->next;

while(last != NULL && last->next !=NULL)

{

pre = pre->next;

last = last->next;

if(last->next != NULL)

last = last->next;

}

last = pre->next;

pre->next = NULL;

pre = list;

}

//合并两个有序的链表

void Merge(List\*& list,List\*& pre,List\*& last)

{

if(pre == NULL)

{

list = last;

return;

}

if(last == NULL)

{

list =pre;

return;

}

List\* cur;

List\* tmp;

if(pre->value > last->value)

swap(pre,last);

//始终将Last链表中的节点插入到pre链表中

list = pre;

cur = pre;

while(cur->next != NULL && last != NULL)

{

if(cur->next->value > last->value)//插入元素

{

tmp = last->next;

last->next = cur->next;

cur->next = last;

cur = last;

last = tmp;

}

else

cur =cur->next;

}

if(last != NULL)

cur->next = last;

}

//更好一点的合并

void Merge\_sec(List\*& list,List\*& pre,List\*& last)

{

List\* tmp = new List;

list = tmp;

while(pre != NULL && last != NULL)

{

if(pre->value < last->value)

{

tmp->next = pre;

pre = pre->next;

}

else

{

tmp->next = last;

last = last->next;

}

tmp = tmp->next;

}

if(last != NULL)

tmp->next = last;

else

tmp->next = pre;

list = list->next;

}

/\*

归并排序的主体思想

\*/

void MergeSort(List\*& list)

{

if(list == NULL || list->next == NULL)

return ;

//找到中间点

List\* pre = NULL;

List\* last = NULL;

FindMid(list,pre,last);//将一个链表List从中间分成pre和last两部分

MergeSort(pre);//归并排序使得前半部分有序

MergeSort(last);//归并排序使得后半部分有序

Merge(list,pre,last);//将量部分的链表合并

}

/\*

归并排序第二种实现

\*/

List\* Merge(List\* first,List\* second)

{

List\* head = NULL;

List\* current = NULL;

if(first == NULL)

return second;

if(second == NULL)

return first;

if(first->value > second->value)

{

current = first;

first = second;

second = current;

}

head = first;

current = first;

first = first->next;

//始终将second的节点插入到first链表中

while(first != NULL && second != NULL)

{

List\* temp = NULL;

if(first->value > second->value)

{

temp = second->next;

current->next = second;

second->next = first;

current = second;

second = temp;

}

else

{

current = first;

first = first->next;

}

}

if(first == NULL)

current->next = second;

return head;

}

List\* MergeSort(List\* list,int size)

{

if(size == 0 | size == 1)

return list;

//找中间点

List\* middle = list;

int i;

for(i =1;i<size/2;i++)

middle = middle->next;

List\* temp = middle->next;

middle->next =NULL;

middle = temp;

List\* left = MergeSort(list,i);

List\* right = MergeSort(middle,size-i);

return Merge(right,left);

}

int main()

{

int array[]={7,4,9,15,2,1,6,10,12,11};

List\* head;

Init\_List(head,array,sizeof(array)/sizeof(int));

head = MergeSort(head,10);

print\_list(head);

return 0;

}

### 排序链表

给你链表的头结点 head ，请将其按 升序 排列并返回 排序后的链表 。

注：LeetCode 148

分析：可以采用快慢指针将链表分割为两个子链表，然后排序，最后merge。

### 对链表进行插入排序

给定单个链表的头 head ，使用 插入排序 对链表进行排序，并返回 排序后链表的头 。

插入排序算法的步骤：

1、插入排序是迭代的，每次只移动一个元素，直到所有元素可以形成一个有序的输出列表。

2、每次迭代中，插入排序只从输入数据中移除一个待排序的元素，找到它在序列中适当的位置，并将其插入。

3、重复直到所有输入数据插入完为止。

下面是插入排序算法的一个图形示例。部分排序的列表(黑色)最初只包含列表中的第一个元素。每次迭代时，从输入数据中删除一个元素(红色)，并就地插入已排序的列表中。

注：LeetCode 147

分析：

### 重排链表/单链表节点的交叉重排

题目要求：给定一个单链表如下所示：L0->L1->……->Ln-1->Ln，重新排序使其变成L0->Ln->L1->Ln-1->L2->Ln-2->……

注：

LeetCode143

代码：

#include <iostream>

#include <vector>

using namespace std;

/\*

按照要求重新为单链表排序

\*/

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

struct list\_node\* next;

int value;

};

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

初始化List 将从1~n的数字插入到链表中

\*/

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

//求链表长度

int Len\_list(List\* list)

{

if(list == NULL)

return 0;

else

return Len\_list(list->next)+1;

}

/\*

链表的翻转

\*/

void Reverse(List\*& list)

{

List\* tmp = NULL;

List\* cur = list;

List\* next = list->next;

while(next != NULL)

{

cur->next = tmp;

tmp = cur;

cur = next;

next = next->next;

}

cur->next = tmp;

list = cur;

}

/\*

重新排序链表，将一个链表拆分，然后重新组合

关键点在于链表个数是偶数还是奇数

\*/

void Reorder\_list(List\*& list)

{

List\* first = list;

List\* second;

List\* tmp\_first,\*tmp\_second;

//需要根据链表中节点的个数来分割链表

int len = Len\_list(first);

int i;

if(len%2 == 0)

{

for(i=1;i<len/2;i++)

first = first->next;

}

else

{

for(i=1;i<len/2+1;i++)

first = first->next;

}

second = first->next;

first->next = NULL;

//将后面的链表进行翻转

Reverse(second);

//重新规划链表

first = list;

//开始进行合并，同时second链表的个数肯定不会比first链表的节点数多

while(second != NULL)

{

tmp\_first = first->next;

tmp\_second = second->next;

first->next= second;

second->next = tmp\_first;

second = tmp\_second;

first = tmp\_first;

} //能否使用伪指针将两个链表串联

}

int main()

{

int array[]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11};

List\* head;

Init\_List(head,array,sizeof(array)/sizeof(int));

Reorder\_list(head);

print\_list(head);

return 0;

}

### [分隔链表](https://leetcode-cn.com/problems/partition-list)

题目：

给你一个头结点为 head 的单链表和一个整数 k ，请你设计一个算法将链表分隔为 k 个连续的部分。

每部分的长度应该尽可能的相等：任意两部分的长度差距不能超过 1 。这可能会导致有些部分为 null 。

这 k 个部分应该按照在链表中出现的顺序排列，并且排在前面的部分的长度应该大于或等于排在后面的长度。

返回一个由上述 k 部分组成的数组。

注：LeetCode 725

分析：

可以采用如下两种思路：

1、快慢指针

2、两个链表模拟（对于这类分割问题都可以采用这种方式，比如单链表分割，重排链表等）

### 单链表的分割

题目要求：给定一个单链表L和一个值x，经过处理，使得小于x的节点值在前面，不小于x的节点值在后面。

例如：给定一个链表1->4->3->2->5-> 2和一个值x=3，链表经过处理之后变成1->2->2->4->3->5

分析：

1、简单做法

1）将链表的所有节点放入到数组中，然后将数组进行快排划分的调整过程；

2）然后将数组中的节点依次重新串连。

2、最优解



将结果分成小于/等于/大于x的链表，然后串连起来：



代码：

#include <iostream>

#include <vector>

#include <string>

using namespace std;

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

struct list\_node\* next;

int value;

};

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

初始化List 将从1~n的数字插入到链表中

\*/

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

//求链表长度

int Len\_list(List\* list)

{

if(list == NULL)

return 0;

else

return Len\_list(list->next)+1;

}

/\*

思路：类似于快排，由于要求不改变原来的相对顺序，所以必须有节点的交换

要不然之间交换节点内部的值即可。

\*/

/\*

类似于快速排序的分割

\*/

void PartitionList(List\*& list,int key)

{

if(list == NULL)

return ;

List\* record,\*cur,\*pre,\*tmp;

record = NULL;

cur = list;

pre = NULL;

//开始处理链表

while(cur != NULL)

{

if(cur->value< key) //插入到pre之后，需要特殊处理头节点

{

tmp = cur->next;

if(pre == NULL)

pre = cur;

if(record ==NULL)

{

record = list;

list = cur;

cur->next = record;

record = cur;

pre->next = tmp;

}

else

{

if(pre != record)

{

cur->next = record->next;

record->next = cur;

pre->next = tmp;

record = cur;

}

else

{

record = pre= cur;

}

}

cur = tmp;

}

else

{

pre= cur;

cur = cur->next;

}

}

}

//第二种方法 使用伪指针

List\* PartitionList2(List\* list,int key)

{

List\* head = new List;

head->next = list;

List\* temp = head;

List\* pre = head,\*cur = list,\*next;

//开始处理

while(cur != NULL)

{

next = cur->next;

if(cur->value < key)

{

pre->next = next;

cur->next = temp->next;

temp->next = cur;

temp = cur;

cur = next;

}

else

{

pre = cur;

cur = next;

}

}

return head->next;

}

int main()

{

int array[]={5,1,2,7,8,4,3,6,10,9};

List\* list;

Init\_List(list,array,sizeof(array)/sizeof(int));

list = PartitionList2(list,5);

print\_list(list);

return 0;

}

**题目：**已知链表头指针head与数值x，将所有小于x的节点放在大于或等于x的节点前，且保持这些节点的原来的相对位置。

注：Leetcode 86



**思路：巧用临时头结点**

1. 设置两个节点less\_head和more\_head，分别存储小于和大于的数字：



2、循环：



连接两个临时链表：



**代码：**



**测试：**



### 合并零之间的节点

给你一个链表的头节点 head ，该链表包含由 0 分隔开的一连串整数。链表的 开端 和 末尾 的节点都满足 Node.val == 0 。

对于每两个相邻的 0 ，请你将它们之间的所有节点合并成一个节点，其值是所有已合并节点的值之和。然后将所有 0 移除，修改后的链表不应该含有任何 0 。

返回修改后链表的头节点 head 。

注：

LeetCode 2181

## 多链表分割/合并

### 两数相加

给你两个非空的链表，表示两个非负的整数。它们每位数字都是按照逆序的方式存储的，并且每个节点只能存储一位数字。

请你将两个数相加，并以相同形式返回一个表示和的链表。

你可以假设除了数字 0 之外，这两个数都不会以 0 开头。

注：LeetCode 2

### 两数相加II

给你两个 非空 链表来代表两个非负整数。数字最高位位于链表开始位置。它们的每个节点只存储一位数字。将这两数相加会返回一个新的链表。

你可以假设除了数字 0 之外，这两个数字都不会以零开头。

注：LeetCode 445

### [奇偶链表](https://leetcode-cn.com/problems/odd-even-linked-list)

给定单链表的头节点 head ，将所有索引为奇数的节点和索引为偶数的节点分别组合在一起，然后返回重新排序的列表。

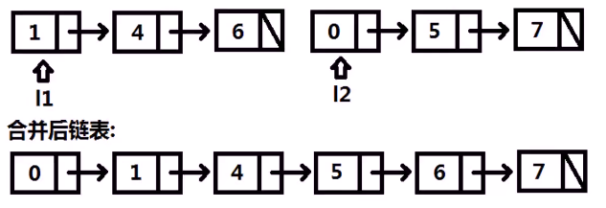
第一个节点的索引被认为是奇数， 第二个节点的索引为偶数，以此类推。

### 单链表的合并/合并两个排序链表

**题目：**

将两个升序链表合并为一个新的 升序 链表并返回。新链表是通过拼接给定的两个链表的所有节点组成的。

**题目：**有多个已经排序好的单链表，将这些单链表合并成一个有序的单链表，返回合并后的头结点。



注：

Leetcode 21

剑指offer 面试题17

分析：采用构造虚拟节点/哑结点（dummyNode）的方式（可以采用new或者声明），然后构造一个临时节点指向dummyNode，用这个tmpNode去组装新的链表，返回dummyNode->next即可。

**思路：**

比较l1和l2指向的节点，将较小的节点插入到pre指针后，并向前移动较小节点对应的指针。

初始：



循环：



最终结果：



**代码：**



**测试：**



**代码：**

#include <iostream>

#include <vector>

using namespace std;

/\*

合并K个已经排序好的链表

\*/

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

struct list\_node\* next;

int value;

};

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

初始化List 将从1~n的数字插入到链表中

\*/

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

//求链表长度

int Len\_list(List\* list)

{

if(list == NULL)

return 0;

else

return Len\_list(list->next)+1;

}

/\*

可以类似于合并几个已经排序好的数组这种思想，比如借助最小堆，每次将堆顶元素插入新的链表中，但是也可以使用数组来进行标记，每次从数组中挑选最小的节点直到所有链表的节点都被选中

\*/

List\* Merge\_k(vector<List\*>& vec)

{

int i;

//使用数组进行标记

vector<int> flag(vec.size(),1);

List\* head = NULL;

List\* cur = NULL;

List\* tmp = NULL;

int pos;

//开始处理K个链表

while(1)

{

tmp = NULL;

//开始遍历标记数组，找到合适的节点

for(i =0;i<vec.size();i++)

{

if(vec[i] == NULL)

flag[i] = 0;

if(flag[i])

{

if(tmp ==NULL)

{

tmp = vec[i];

pos =i;

}

if(tmp && tmp->value > vec[i]->value)

{

tmp = vec[i];

pos =i;

}

}

}

//开始特殊处理头节点

if(head == NULL)

{

head = tmp;

cur = head;

}

else

{

cur->next = tmp;

cur= cur->next;

}

//处理被选中的链表

vec[pos] = vec[pos]->next;

if(vec[pos] == NULL)

flag[pos] =0;

//判断是否所有的节点都已经被选中

for(i=0;i<flag.size();i++)

{

if(flag[i])

break;

}

if(i>=flag.size())

break;

}

return head;

}

int main()

{

int array1[]={1,4,7,8,13,19};

int array2[]={5,8,9,10,12,15,17,22,23};

int array3[]={3,6,11,16,17,18,21,24};

int array4[]={2,14,20,25};

vector<List\*> vec(4);

int i;

Init\_List(vec[0],array1,sizeof(array1)/sizeof(int));

Init\_List(vec[1],array2,sizeof(array2)/sizeof(int));

Init\_List(vec[2],array3,sizeof(array3)/sizeof(int));

Init\_List(vec[3],array4,sizeof(array4)/sizeof(int));

List\* head = Merge\_k(vec);

print\_list(head);

return 0;

}

注：2个/K个排序链表的归并

### 排序链表合并（多个）/合并k个升序链表

**题目：**已知k个已排序链表头结点指针，将这k个链表合并，合并后仍为有序的，返回合并后的头结点。



注：Leetcode 23

**分析：**

**方法一：**暴力合并

最普通的方法，k个链表按顺序合并k-1次。

设有k个链表，平均每个链表有n个节点，时间复杂度：

(n+n)+(2n+n)+((k-1)n+n)=(1+2+…+k-1)n=(1+2+…+k)n-n=(k^2+k-1)/2\*n=O(k^2\*n)



**方法二：**排序后相连

将k\*n个节点放到vector中，再将vector排序，再将节点顺序相连。

设有k个链表，平均每个链表有n个节点，时间复杂度：

kN\*logkN+kN=O(kN\*logkN)（比如k=100,n=10000）logkN=20,k=100



**方法三：分治+合并**

对k个链表进行分治，两两进行合并。

设有k个链表，平均每个链表有n个节点，时间复杂度：

第1轮，进行k/2次，每次处理2n个数字；

第2轮，进行k/4，每次处理4n个数字；

最后一次，进行k/(2^logk)次，每次处理2^logk\*N个值。

2N\*k/2+4N\*k/4+8N\*k/8+…+2^logk\*N/(2^logk)=Nk+Nk+…+Nk=O(kNlogk)



**代码：**

**方法一：**



**方法二：**



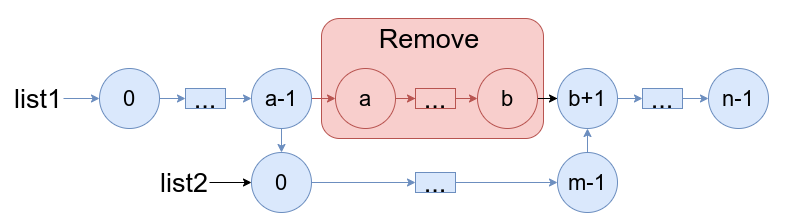
**测试：**

### 合并两个链表

给你两个链表 list1 和 list2 ，它们包含的元素分别为 n 个和 m 个。

请你将 list1 中下标从 a 到 b 的全部节点都删除，并将list2 接在被删除节点的位置。

下图中蓝色边和节点展示了操作后的结果：



请你返回结果链表的头指针。

注：

LeetCode 1669

## 复杂链表深度拷贝

**题目：**已知一个复杂的链表，节点中有一个指向本链表任意某个节点的随机指针（也可以为空），求这个链表的深度拷贝（即构造一个全新的链表而对原来的链表没有影响）。



注：Leetcode 138/剑指offer 面试题26

**分析：**

使用STL map的思想实现映射：



节点地址与节点序号对应（主要是Random指针的赋值）：



**代码：**



**测试：**



## 链表节点添加

相关题目：LeetCode 707设计链表

### 头部插入节点

插入节点常见错误：

void addAtHead(int val) {

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

\_dummyHead->next = newNode;

newNode->next = head;

\_size++;

}

分析：

图示

AI 生成的内容可能不正确。

这里在初始化\_dummyHead->next的时候，dummyNode和head的关联关系已经被覆盖了，也就是说这个head节点此时已经无法通过dummyHead->next找到了，后面的这个newHead也就无法找到它的后继节点了，即head。

一定注意，在引入dummyNode后，对于head节点的操作完全都是通过dummyNode->next，因为这个时候head是会改变的！！！

正确的做法：

// 在链表最前面插入一个节点，插入完成后，新插入的节点为链表的新的头结点

void addAtHead(int val) {

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

newNode->next = \_dummyHead->next;

\_dummyHead->next = newNode;

\_size++;

}

### 尾部插入节点

// 在链表最后面添加一个节点

void addAtTail(int val) {

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while(cur->next != nullptr){

cur = cur->next;

}

cur->next = newNode;

\_size++;

}

### 第N个节点前插入节点

// 在第index个节点之前插入一个新节点，例如index为0，那么新插入的节点为链表的新头节点。

// 如果index 等于链表的长度，则说明是新插入的节点为链表的尾结点

// 如果index大于链表的长度，则返回空

// 如果index小于0，则在头部插入节点

void addAtIndex(int index, int val) {

if(index > \_size) return;

if(index < 0) index = 0;

LinkedNode\* newNode = new LinkedNode(val);

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while(index--) { // 寻找第N个节点

cur = cur->next;

}

newNode->next = cur->next;

cur->next = newNode; // 也可以用tmpNode保存cur->next

\_size++;

}

## 链表节点删除

**说明：**链表中节点的查找和删除实际上还是链表遍历的拓展。

删除链表的节点，本质上是链表的遍历操作，可以采用**快慢指针**的方式。

**题目要求：**

删除单链表第K个节点

递归打印单链表的节点

判断单链表中是否有环

O(1)时间复杂度删除单链表中的节点

代码：

#include <iostream>

using namespace std;

typedef struct list\_node ListNode;

struct list\_node

{

struct list\_node\* next;

int value;

};

/\*

初始化List 将从1~n的数字插入到链表中

\*/

void Init\_List(ListNode\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

ListNode\* tmp;

ListNode\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new ListNode;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

void print\_list(ListNode\* list)

{

ListNode\* tmp = list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

### 移除链表元素

class Solution {

public:

ListNode\* removeElements(ListNode\* head, int val) {

ListNode\* dummyHead = new ListNode(0); // 设置一个虚拟头结点

dummyHead->next = head; // 将虚拟头结点指向head，这样方便后面做删除操作

ListNode\* cur = dummyHead;

while (cur->next != NULL) {

if(cur->next->val == val) {

ListNode\* tmp = cur->next;

cur->next = cur->next->next;

delete tmp;

} else {

cur = cur->next;

}

}

head = dummyHead->next;

delete dummyHead;

return head;

}

};

### 删除单链表中重复的元素

题目要求：在一个已经排序好的链表中，删除链表中的重复元素，使得重复元素只保留一个。

注：LeetCode 82

分析：

使用快慢指针。

代码：

#include <iostream>

#include <vector>

using namespace std;

typedef struct list\_node List;

struct list\_node

{

int value;

struct list\_node\* next;

};

void Init\_List(List\*& head,int\* array,int n)

{

head = NULL;

List\* tmp;

List\* record;

for(int i=1;i<=n;i++)

{

tmp = new List;

tmp->next = NULL;

tmp->value = array[i-1];

if(head == NULL)

{

head = tmp;

record = head;

}

else

{

record->next = tmp;

record = tmp;

}

}

}

void print\_list(List\* list)

{

List\* tmp=list;

while(tmp != NULL)

{

cout<<tmp->value<<endl;

tmp = tmp->next;

}

}

/\*

删除重复的元素

\*/

void RemoveDuplicate(List\*& head)

{

if(head == NULL || head->next == NULL)

return;

List\* slow = head;

List\* fast = head->next;

List\* tmp;

while(fast != NULL)

{

if(slow->value == fast->value)

{

tmp = fast;

fast = fast->next;

slow->next = fast;

delete tmp;

}

else

{

slow = slow->next;

fast = fast->next;

}

}

}

//另一种方法

List\* removeDuplicate(List\* head)

{

if(head == NULL || head->next == NULL)

return head;

List\* temp,\*pre,\*cur;

List\* newhead = new List;

newhead->next = head;

temp = newhead;

pre = head;

cur = head->next;

while(cur != NULL)

{

while(cur != NULL && cur->value == pre->value)

cur = cur->next;

if(pre->next == cur)

{

temp->next = pre;

temp = pre;

pre = cur;

}

else

{

pre = cur;

}

if(cur != NULL)

cur = cur->next;

}

temp->next = cur;

return newhead->next;

}

int main()

{

int array[]={1,1,1,2,3,3,4,5,6,6,7,7};

List\* head;

Init\_List(head,array,sizeof(array)/sizeof(int));

head = removeDuplicate(head);

print\_list(head);

return 0;

}

**拓展：**

在一个已经排序号的链表中，删除链表中的重复元素，使得重复元素不保留。

### 移除链表元素/重复元素

说明：LeetCode 203（类似删除重复元素）

### 从链表中移除元素

给你一个链表的头节点 head 。

移除每个右侧有一个更大数值的节点。

返回修改后链表的头节点 head 。

注：LeetCode 2487

### 从链表中删去总和值为零的连续节点

给你一个链表的头节点 head，请你编写代码，反复删去链表中由 总和 值为 0 的连续节点组成的序列，直到不存在这样的序列为止。

删除完毕后，请你返回最终结果链表的头节点。

注：LeetCode 1171

分析：

class Solution {

public:

ListNode\* removeZeroSumSublists(ListNode\* head) {

ListNode\* dummy = new ListNode(0);

dummy->next = head;

int prefix = 0;

unordered\_map<int, ListNode\*> seen;

for (ListNode\* node = dummy; node; node = node->next) {

prefix += node->val;

seen[prefix] = node;

}

prefix = 0;

for (ListNode\* node = dummy; node; node = node->next) {

prefix += node->val;

node->next = seen[prefix]->next;

}

return dummy->next;

}

};

### 删除链表中的结点

请编写一个函数，使其可以删除某个链表中给定的（非末尾）节点，你将只被给定要求被删除的节点。

注：LeetCode 237

分析：

class Solution {

public:

void deleteNode(ListNode\* node) {

node->val = node->next->val;

node->next = node->next->next;

}

};

### O(1)时间复杂度删除单链表中的节点

/\*

给出一单链表头指针phead和一个待删除的节点指针，

在O(1)时间复杂度内删除此节点

\*/

void Delete(ListNode\* phead,ListNode\* tobedelete)

{

if(tobedelete == NULL || phead == NULL)

return;

ListNode\* temp = phead;

//将下一个节点的数据复制到本节点，然后删除下一个节点

if(tobedelete->next != NULL)

{

tobedelete->value = tobedelete->next->value;

ListNode\* temp = tobedelete->next;

tobedelete->next = tobedelete->next->next;

delete temp;

}

else //要删除的是最后一个节点

{

if(phead == tobedelete)//链表中只有一个节点的情况

{

phead = NULL;

delete tobedelete;

}

else

{

ListNode\* pnode = phead;

while(pnode->next != tobedelete)//找到倒数第二个节点

pnode =pnode->next;

pnode->next = NULL;

delete tobedelete;

}

}

}

int main()

{

int array[]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10};

ListNode\* list;

Init\_List(list,array,sizeof(array)/sizeof(int));

// print\_list(list);

Delete(list,list->next->next->next);

print\_list(list);

return 0;

}

图形用户界面, 应用程序

AI 生成的内容可能不正确。

### 删除第N个节点

相关题目：

Leetcode 707设计链表

分析：

// 删除第index个节点，如果index 大于等于链表的长度，直接return，注意index是从0开始的

void deleteAtIndex(int index) {

if (index >= \_size || index < 0) {

return;

}

LinkedNode\* cur = \_dummyHead;

while(index--) {

cur = cur ->next;

}

LinkedNode\* tmp = cur->next;

cur->next = cur->next->next;

delete tmp;

//delete命令指示释放了tmp指针原本所指的那部分内存，

//被delete后的指针tmp的值（地址）并非就是NULL，而是随机值。也就是被delete后，

//如果不再加上一句tmp=nullptr,tmp会成为乱指的野指针

//如果之后的程序不小心使用了tmp，会指向难以预想的内存空间

tmp=nullptr;

\_size--;

}

### 删除链表的倒数第 N 个结点

给定一个链表，删除链表的倒数第 n 个节点，并且返回链表的头结点。

注：LeetCode 19

分析：

这个题目和删除第N个节点类似，只是这里多了一个寻找倒数第N个元素的操作，对于第N个元素，直接顺序移动next即可，但是倒数第N个，需要使用快慢指针。

/\*\*

\* Definition for singly-linked list.

\* struct ListNode {

\* int val;

\* ListNode \*next;

\* ListNode() : val(0), next(nullptr) {}

\* ListNode(int x) : val(x), next(nullptr) {}

\* ListNode(int x, ListNode \*next) : val(x), next(next) {}

\* };

\*/

class Solution {

public:

ListNode\* removeNthFromEnd(ListNode\* head, int n) {

// 创建虚拟头节点，简化删除操作

ListNode\* dummyHead = new ListNode(0);

dummyHead->next = head;

// 第一步：计算链表的总长度

int length = 0;

ListNode\* cur = dummyHead->next;

while (cur != nullptr) {

length++;

cur = cur->next;

}

// 第二步：将倒数第n个转换为正数索引（从0开始）

// 倒数第n个 = 正数第(length - n)个

int index = length - n;

// 第三步：类似deleteAtIndex的操作，删除正数第index个节点

cur = dummyHead;

// 移动到待删除节点的前一个节点

while (index--) {

cur = cur->next;

}

// 执行删除操作

ListNode\* tmp = cur->next;

cur->next = cur->next->next;

delete tmp;

tmp = nullptr;

// 记录新的头节点，释放虚拟头节点内存

ListNode\* newHead = dummyHead->next;

delete dummyHead;

return newHead;

}

};

### 删除链表的中间节点

给你一个链表的头节点head。删除链表的中间节点，并返回修改后的链表的头节点head。

长度为n链表的中间节点是从头数起第⌊n / 2⌋个节点（下标从0开始），其中⌊x⌋表示小于或等于x的最大整数。

对于n = 1、2、3、4和5的情况，中间节点的下标分别是0、1、1、2和2。

注：LeetCode 2095

分析：

使用快慢指针。

## 双向链表

### LRU缓存

注：LeetCode 146

### LFU缓存

## 通讯录

## 一元多项式

## 约瑟夫环

题目要求：使用单链表来解决约瑟夫环问题。

代码：

#include <iostream>

#include <vector>

#include <list>

using namespace std;

// 约瑟夫环问题，使用STL中的List，

int Joseph(list<int>& ring,int k)

{

list<int>::iterator itr = ring.begin(),temp;

int m;

//链表节点个数大于1就会一直删除下去

while(ring.size()>1)

{

m =1;

//判断当前迭代器是否需要重新置位

if(itr == ring.end())

itr = ring.begin();

//查找合适的节点进行删除

while(m <k)

{

//始终需要判断是否需要重新置位

if(itr == ring.end())

itr = ring.begin();

itr++;

m++;

if(itr == ring.end())

itr = ring.begin();

}

temp = itr;

itr++;

//删除被选中的节点

ring.erase(temp);

}

//只剩下一个节点

itr = ring.begin();

return \*itr;

}

int main()

{

int i;

list<int> ring;

for(i=1;i<=9;i++)

ring.insert(ring.begin(),i);

cout<<Joseph(ring,5)<<endl;

return 0;

}