



《代码随想录》作者：[程序员Carl](#)

- 代码随想录官网（网站持续更新优化内容，建议直接看网站）：www.programmervcarl.com
- 代码随想录[Github开源地址](#)
- [代码随想录算法公开课](#)，代码随想录的全部内容将由我（[程序员Carl](#)）视频讲解并免费开放给大家。
- [《代码随想录》](#) 已经出版。
- [代码随想录知识星球](#) 上万录友在这里学习
- [代码随想录算法训练营](#) 帮助录友高效刷完代码随想录。
- 微信公众号：[代码随想录](#)
- 组队刷题，可以添加[代码随想录官方微信](#)
- ACM模式练习，推荐：[卡码网](#)

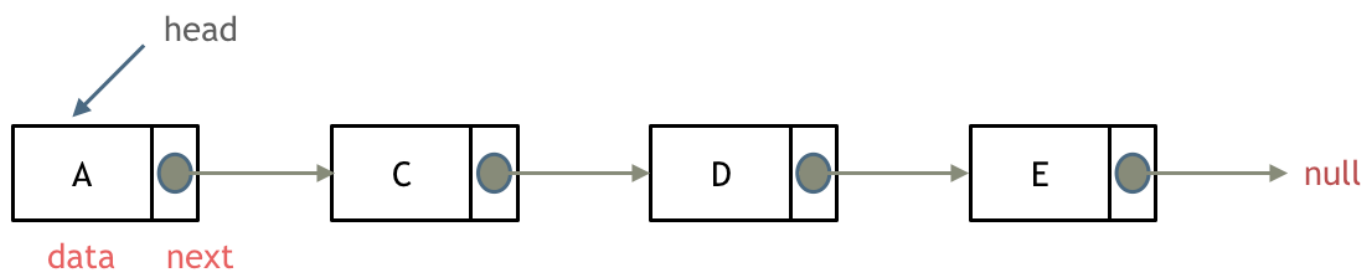
特别提示：PDF仅提供C++语言版本同时PDF中很多动图无法加载，其他编程语言版本和查看动图可以移步至[代码随想录官方网站](#)查看。

1. 关于链表，你该了解这些！

什么是链表，链表是一种通过指针串联在一起的线性结构，每一个节点由两部分组成，一个是数据域一个是指针域（存放指向下一个节点的指针），最后一个节点的指针域指向null（空指针的意思）。

链表的入口节点称为链表的头结点也就是head。

如图所示：



链表的类型

接下来说一下链表的几种类型：

单链表

刚刚说的就是单链表。

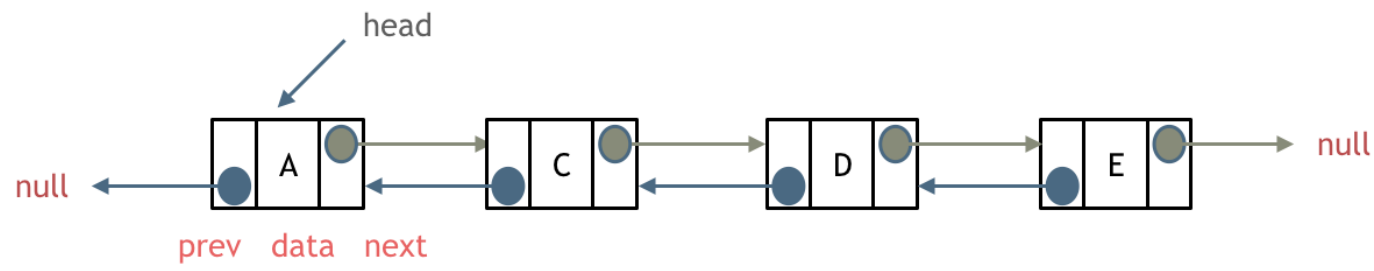
双链表

单链表中的指针域只能指向节点的下一个节点。

双链表：每一个节点有两个指针域，一个指向下一个节点，一个指向上一个节点。

双链表 既可以向前查询也可以向后查询。

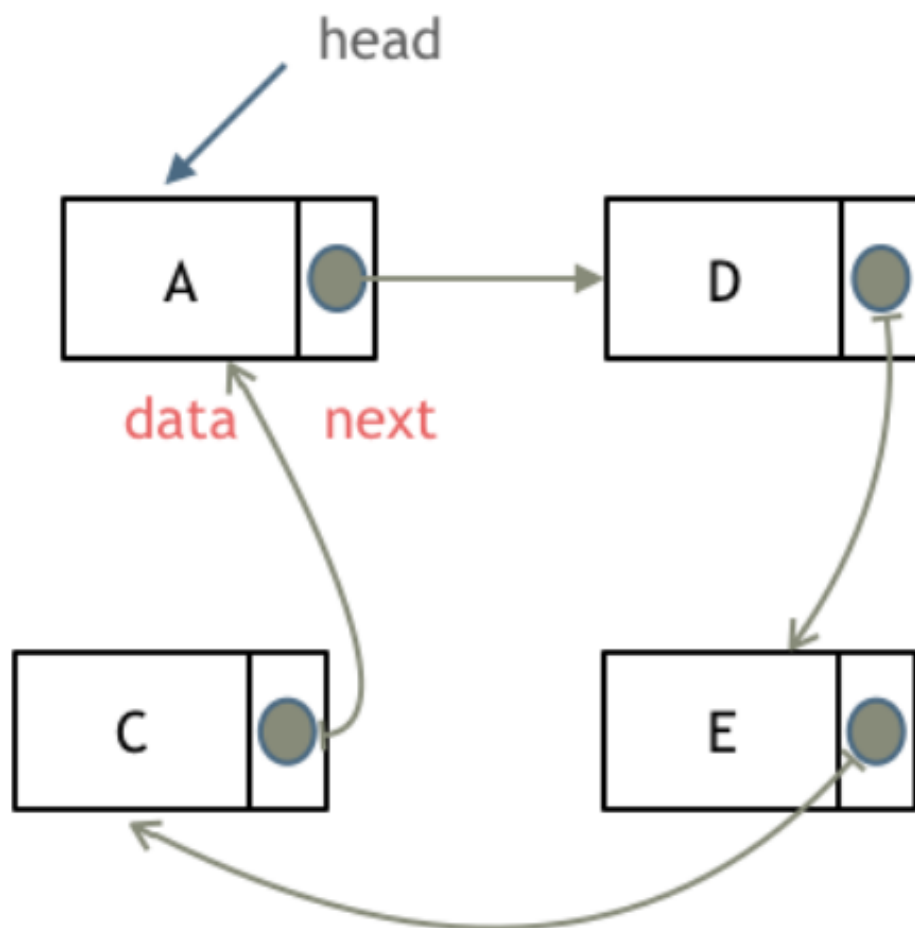
如图所示：



循环链表

循环链表，顾名思义，就是链表首尾相连。

循环链表可以用来解决约瑟夫环问题。



链表的存储方式

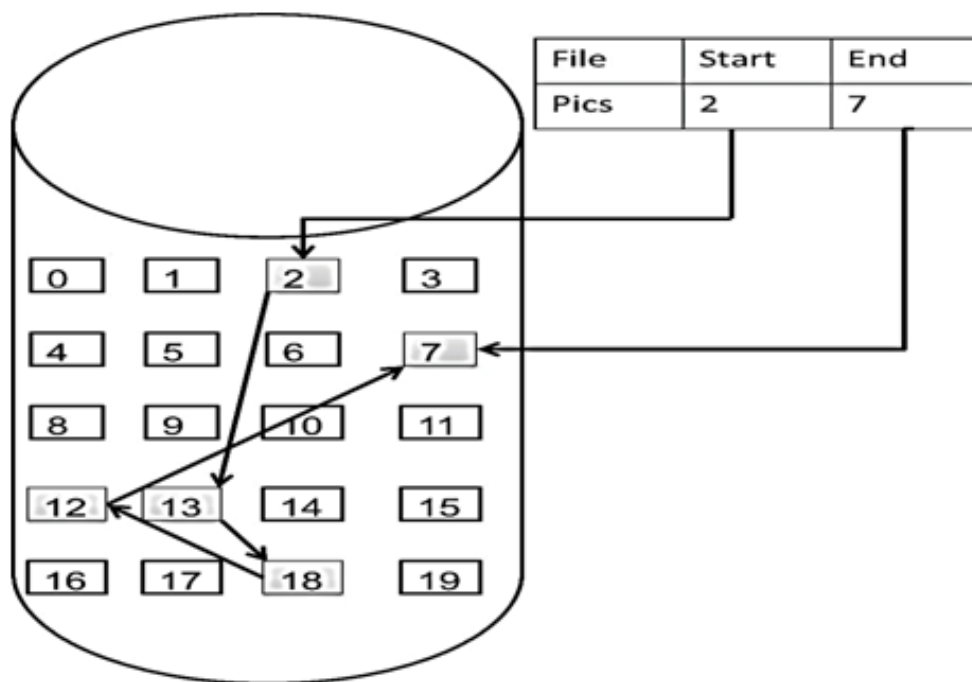
了解完链表的类型，再来说一说链表在内存中的存储方式。

数组是在内存中是连续分布的，但是链表在内存中可不是连续分布的。

链表是通过指针域的指针链接在内存中各个节点。

所以链表中的节点在内存中不是连续分布的，而是散乱分布在内存中的某地址上，分配机制取决于操作系统的内存管理。

如图所示：



这个链表起始节点为2，终止节点为7，各个节点分布在内存的不同地址空间上，通过指针串联在一起。

链表的定义

接下来说一说链表的定义。

链表节点的定义，很多同学在面试的时候都写不好。

这是因为平时在刷leetcode的时候，链表的节点都默认定义好了，直接用就行了，所以同学们都没有注意到链表的节点是如何定义的。

而在面试的时候，一旦要自己手写链表，就写的错漏百出。

这里我给出C/C++的定义链表节点方式，如下所示：

```
// 单链表
struct ListNode {
    int val; // 节点上存储的元素
    ListNode *next; // 指向下一个节点的指针
    ListNode(int x) : val(x), next(NULL) {} // 节点的构造函数
};
```

有同学说了，我不定义构造函数行不行，答案是可以的，C++默认生成一个构造函数。

但是这个构造函数不会初始化任何成员变量，下面我来举两个例子：

通过自己定义构造函数初始化节点：

```
ListNode* head = new ListNode(5);
```

使用默认构造函数初始化节点：

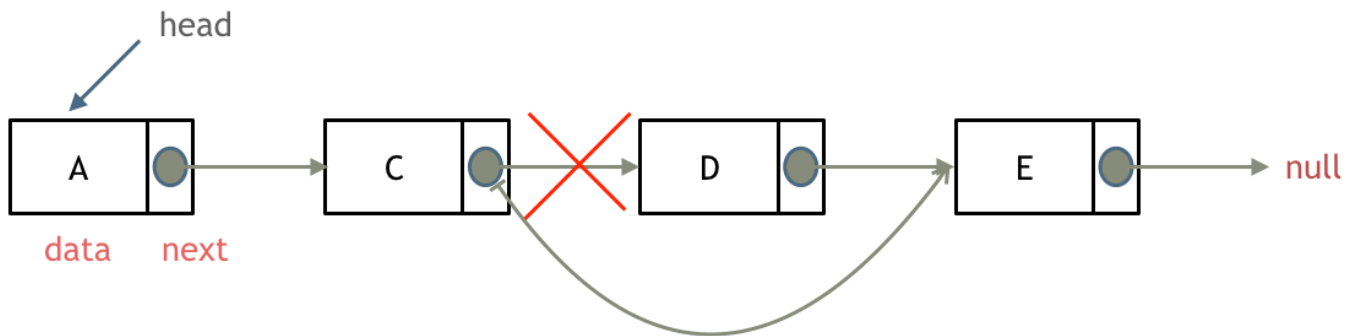
```
ListNode* head = new ListNode();  
head->val = 5;
```

所以如果不定义构造函数使用默认构造函数的话，在初始化的时候就不能直接给变量赋值！

链表的操作

删除节点

删除D节点，如图所示：



只要将C节点的next指针 指向E节点就可以了。

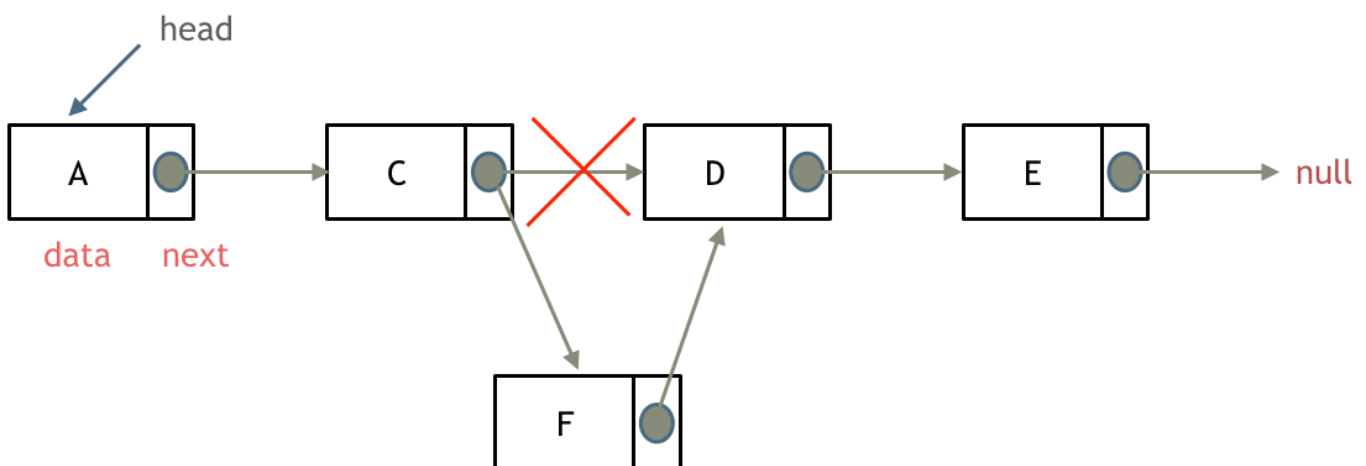
那有同学说了，D节点不是依然存留在内存里么？只不过是没在这个链表里而已。

是这样的，所以在C++里最好是再手动释放这个D节点，释放这块内存。

其他语言例如Java、Python，就有自己的内存回收机制，就不用自己手动释放了。

添加节点

如图所示：



可以看出链表的增添和删除都是 $O(1)$ 操作，也不会影响到其他节点。

但是要注意，要是删除第五个节点，需要从头节点查找到第四个节点通过next指针进行删除操作，查找的时间复杂度是 $O(n)$ 。

性能分析

再把链表的特性和数组的特性进行一个对比，如图所示：

	插入/删除（时间复杂度）	查询（时间复杂度）	适用场景
数组	$O(n)$	$O(1)$	数据量固定，频繁查询，较少增删
链表	$O(1)$	$O(n)$	数据量不固定，频繁增删，较少查询

数组在定义的时候，长度就是固定的，如果想改动数组的长度，就需要重新定义一个新的数组。

链表的长度可以是不固定的，并且可以动态增删， 适合数据量不固定，频繁增删，较少查询的场景。

相信大家已经对链表足够的了解，后面我会讲解关于链表的高频面试题目，我们下期见！

链表操作中，可以使用原链表来直接进行删除操作，也可以设置一个虚拟头结点再进行删除操作，接下来看一看哪种方式更方便。

2.移除链表元素

[力扣题目链接](#)

题意：删除链表中等于给定值 val 的所有节点。

示例 1：
输入：head = [1,2,6,3,4,5,6], val = 6
输出：[1,2,3,4,5]

示例 2：
输入：head = [], val = 1
输出：[]

示例 3：
输入：head = [7,7,7,7], val = 7
输出：[]

算法公开课

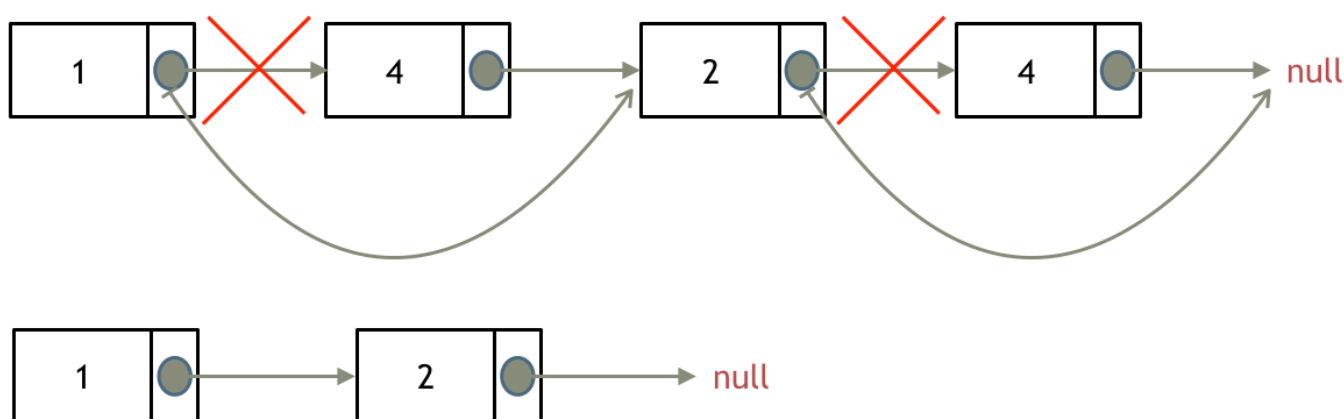
《代码随想录》算法视频公开课：[链表基础操作 | LeetCode: 203.移除链表元素](#)，相信结合视频再看本篇题解，更有助于大家对本题的理解。

思路

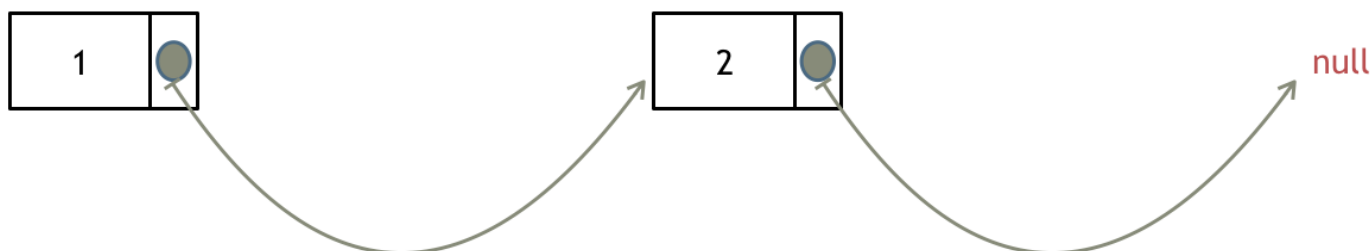
这里以链表 1 4 2 4 来举例，移除元素4。

链表：1->4->2->4

移除元素4



如果使用C，C++编程语言的话，不要忘了还要从内存中删除这两个移除的节点，清理节点内存之后如图：



当然如果使用java，python的话就不用手动管理内存了。

还要说明一下，就算使用C++来做leetcode，如果移除一个节点之后，没有手动在内存中删除这个节点，leetcode 依然也是可以通过的，只不过，内存使用的空间大一些而已，但建议依然要养成手动清理内存的习惯。

这种情况下的移除操作，就是让节点next指针直接指向下下一个节点就可以了，

那么因为单链表的特殊性，只能指向下一个节点，刚刚删除的是链表的中第二个，和第四个节点，那么如果删除的是头结点又该怎么办呢？

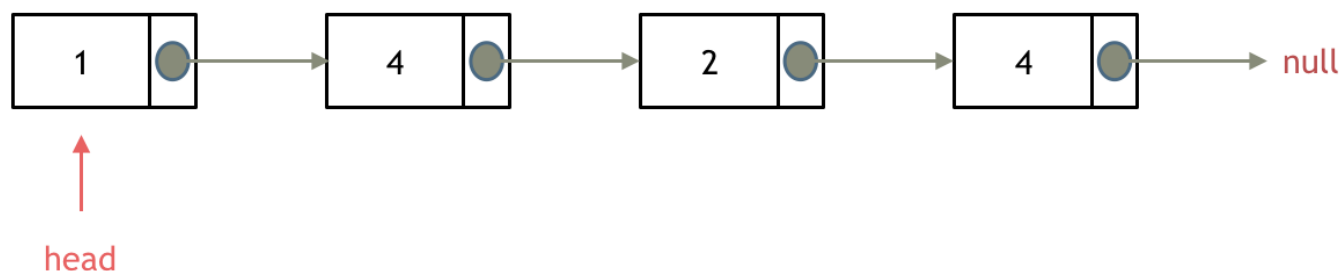
这里就涉及如下链表操作的两种方式：

- 直接使用原来的链表来进行删除操作。
- 设置一个虚拟头结点在进行删除操作。

来看第一种操作：直接使用原来的链表来进行移除。

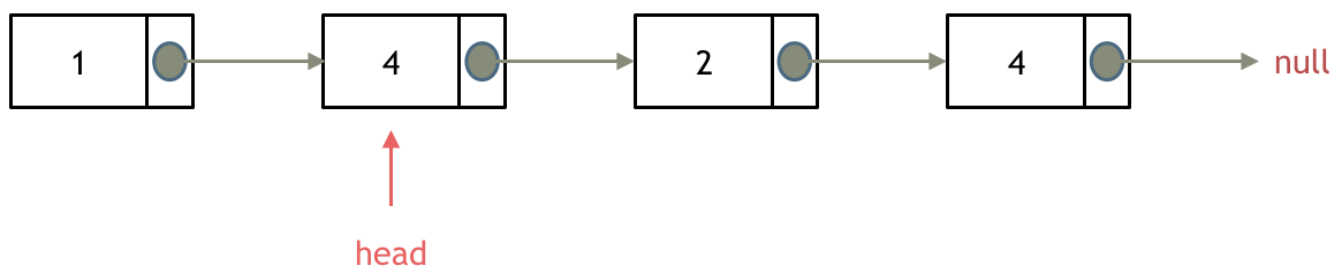
链表：1->4->2->4

移除元素1

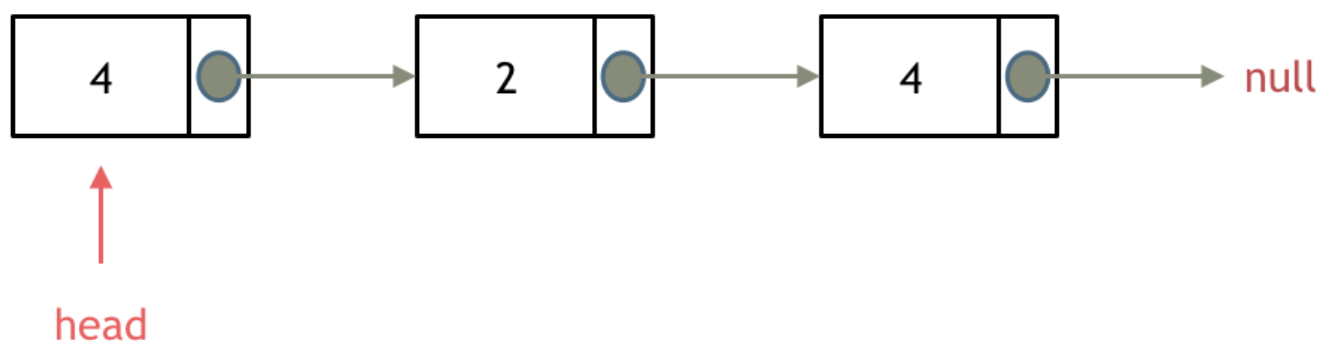


移除头结点和移除其他节点的操作是不一样的，因为链表的其他节点都是通过前一个节点来移除当前节点，而头结点没有前一个节点。

所以头结点如何移除呢，其实只要将头结点向后移动一位就可以，这样就从链表中移除了一个头结点。



依然别忘将原头结点从内存中删掉。



这样移除了一个头结点，是不是发现，在单链表中移除头结点和移除其他节点的操作方式是不一样的，其实在写代码的时候也会发现，需要单独写一段逻辑来处理移除头结点的情况。

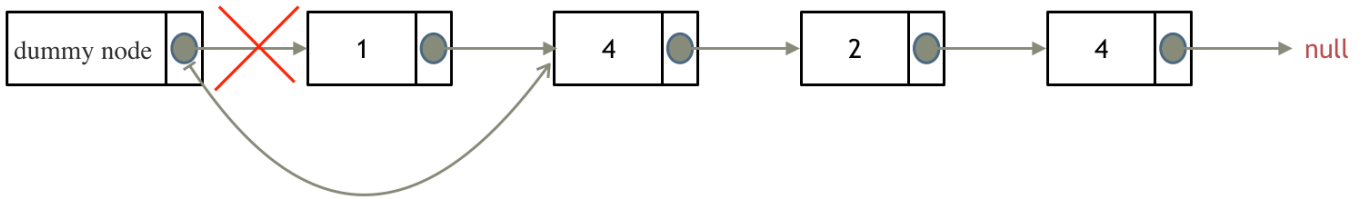
那么可不可以以一种统一的逻辑来移除链表的节点呢。

其实可以设置一个虚拟头结点，这样原链表的所有节点就都可以按照统一的方式进行移除了。

来看看如何设置一个虚拟头。依然还是在这个链表中，移除元素1。

链表：1->4->2->4

移除元素1



这里来给链表添加一个虚拟头结点为新的头结点，此时要移除这个旧头结点元素1。

这样是不是就可以使用和移除链表其他节点的方式统一了呢？

来看一下，如何移除元素1呢，还是熟悉的方式，然后从内存中删除元素1。

最后呢在题目中，return 头结点的时候，别忘了 `return dummyNode->next;`，这才是新的头结点

直接使用原来的链表来进行移除节点操作：

```
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;
                delete tmp;
            } else {
                cur = cur->next;
            }
        }
        return head;
    }
};
```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(1)$

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;
        delete dummyHead;
        return head;
    }
};

```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(1)$

听说这道题目把链表常见的五个操作都覆盖了？

3.设计链表

[力扣题目链接](#)

题意：

在链表类中实现这些功能：

- `get(index)`：获取链表中第 `index` 个节点的值。如果索引无效，则返回-1。
- `addAtHead(val)`：在链表的第一个元素之前添加一个值为 `val` 的节点。插入后，新节点将成为链表的第一个节点。
- `addAtTail(val)`：将值为 `val` 的节点追加到链表的最后一个元素。
- `addAtIndex(index,val)`：在链表中的第 `index` 个节点之前添加值为 `val` 的节点。如果 `index` 等于链表的长度，则该节点将附加到链表的末尾。如果 `index` 大于链表长度，则不会插入节点。如果 `index` 小于0，则在头部插入节点。
- `deleteAtIndex(index)`：如果索引 `index` 有效，则删除链表中的第 `index` 个节点。

示例：

```
MyLinkedList linkedList = new MyLinkedList();
linkedList.addAtHead(1);
linkedList.addAtTail(3);
linkedList.addAtIndex(1,2);    //链表变为1-> 2-> 3
linkedList.get(1);              //返回2
linkedList.deleteAtIndex(1);    //现在链表是1-> 3
linkedList.get(1);              //返回3
```

算法公开课

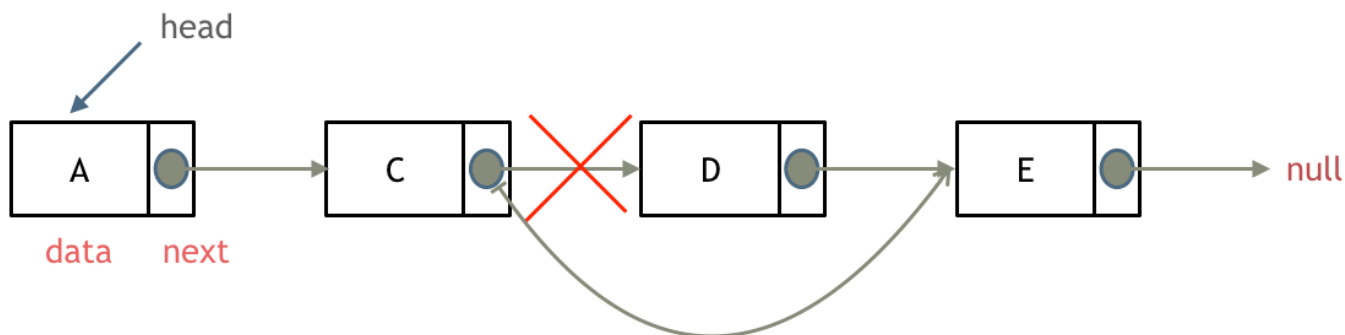
《代码随想录》算法视频公开课：[帮你把链表操作学个通透！LeetCode：707.设计链表](#)，相信结合视频再看本篇题解，更有助于大家对本题的理解。

思路

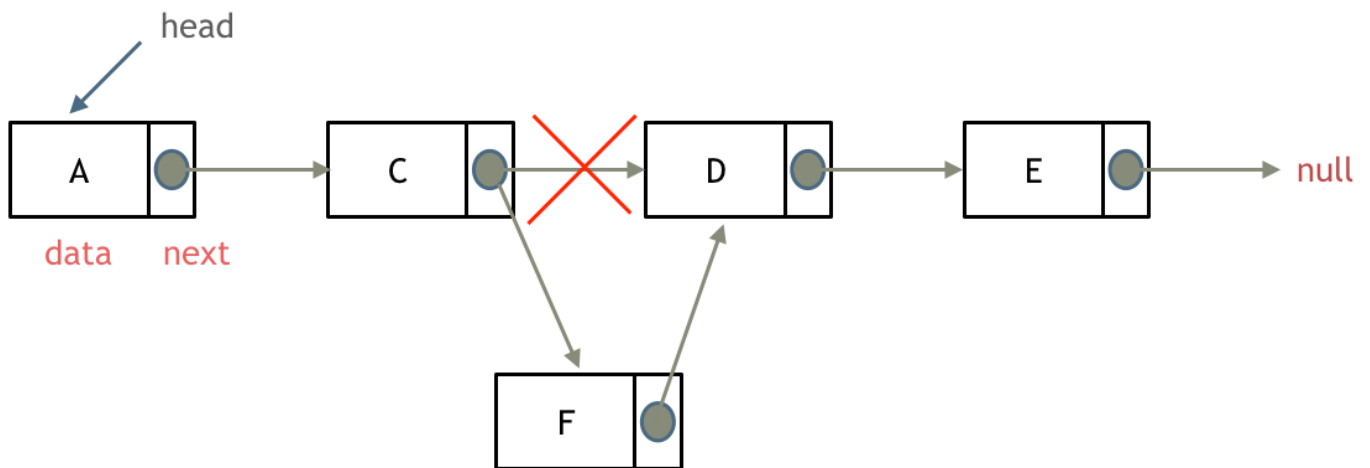
如果对链表的基础知识还不太懂，可以看这篇文章：[关于链表，你该了解这些！](#)

如果对链表的虚拟头结点不清楚，可以看这篇文章：[链表：听说用虚拟头节点会方便很多？](#)

删除链表节点：



添加链表节点：



这道题目设计链表的五个接口：

- 获取链表第index个节点的数值
- 在链表的最前面插入一个节点
- 在链表的最后面插入一个节点
- 在链表第index个节点前面插入一个节点
- 删除链表的第index个节点

可以说这五个接口，已经覆盖了链表的常见操作，是练习链表操作非常好的一道题目

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（这样更方便一些，大家看代码就会感受出来）。

```
class MyLinkedList {
public:
    // 定义链表节点结构体
    struct ListNode {
        int val;
        ListNode* next;
        ListNode(int val):val(val), next(nullptr){}
    };

    // 初始化链表
    MyLinkedList() {
        _dummyHead = new ListNode(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
        _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;
    }
    ListNode* 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) {
    ListNode* newNode = new ListNode(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) {
    ListNode* newNode = new ListNode(val);
    ListNode* 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;
    ListNode* newNode = new ListNode(val);
    ListNode* 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;
    }
    ListNode* cur = _dummyHead;
    while(index-- > 0) {
        cur = cur->next;
    }
    ListNode* 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() {
    ListNode* cur = _dummyHead;
    while (cur->next != nullptr) {
        cout << cur->next->val << " ";
        cur = cur->next;
    }
    cout << endl;
}

private:
    int _size;
    ListNode* _dummyHead;
};

```

- 时间复杂度: 涉及 `index` 的相关操作为 $O(\text{index})$, 其余为 $O(1)$
- 空间复杂度: $O(n)$

反转链表的写法很简单, 一些同学甚至可以背下来但过一阵就忘了该咋写, 主要是因为不理解真正的反转过程。

4. 反转链表

[力扣题目链接](#)

题意: 反转一个单链表。

示例:
输入: 1->2->3->4->5->NULL
输出: 5->4->3->2->1->NULL

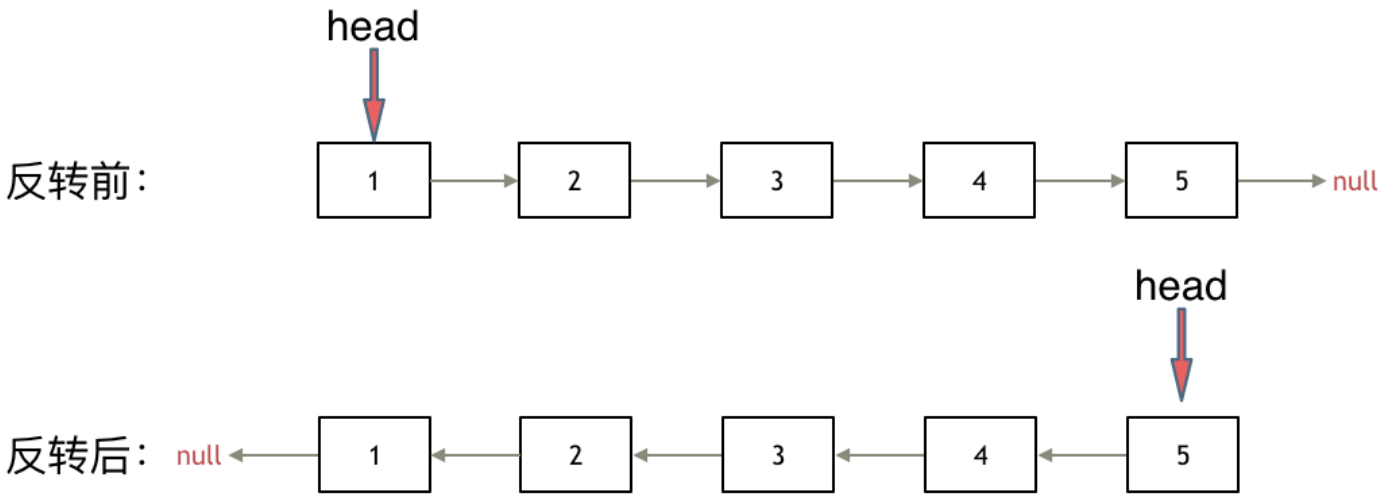
算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课：[帮你拿下反转链表 | LeetCode：206.反转链表](#)，相信结合视频再看本篇题解，更有助于大家对本题的理解。

思路

如果再定义一个新的链表，实现链表元素的反转，其实这是对内存空间的浪费。

其实只需要改变链表的next指针的指向，直接将链表反转，而不用重新定义一个新的链表，如图所示：



之前链表的头节点是元素1， 反转之后头结点就是元素5， 这里并没有添加或者删除节点， 仅仅是改变next指针的方向。

那么接下来看一看是如何反转的呢？

我们拿有示例中的链表来举例， 如动画所示：（纠正：动画应该是先移动pre， 在移动cur）



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。

双指针法

```
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;
    }
};
```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(1)$

递归法

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。

```
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);
    }
};
```

- 时间复杂度: $O(n)$, 要递归处理链表的每个节点
- 空间复杂度: $O(n)$, 递归调用了 n 层栈空间

我们可以发现，上面的递归写法和双指针法实质上都是从前往后翻转指针指向，其实还有另外一种与双指针法不同思路的递归写法：从后往前翻转指针指向。

具体代码如下（带详细注释）：

```
class Solution {
public:
    ListNode* reverseList(ListNode* head) {
        // 边缘条件判断
```

```

        if(head == NULL) return NULL;
        if (head->next == NULL) return head;

        // 递归调用，翻转第二个节点开始往后的链表
        ListNode *last = reverseList(head->next);
        // 翻转头节点与第二个节点的指向
        head->next->next = head;
        // 此时的 head 节点为尾节点，next 需要指向 NULL
        head->next = NULL;
        return last;
    }
};

```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(n)$

其他解法

使用虚拟头结点解决链表反转

使用虚拟头结点，通过头插法实现链表的反转（不需要栈）

```

// 迭代方法：增加虚头结点，使用头插法实现链表翻转
public static ListNode reverseList1(ListNode head) {
    // 创建虚头结点
    ListNode dummyHead = new ListNode(-1);
    dummyHead.next = null;
    // 遍历所有节点
    ListNode cur = head;
    while(cur != null){
        ListNode temp = cur.next;
        // 头插法
        cur.next = dummyHead.next;
        dummyHead.next = cur;
        cur = temp;
    }
    return dummyHead.next;
}

```

使用栈解决反转链表的问题

- 首先将所有的结点入栈
- 然后创建一个虚拟头结点，让cur指向虚拟头结点。然后开始循环出栈，每出来一个元素，就把它加入到以虚拟头结点为头结点的链表当中，最后返回即可。

```

public ListNode reverseList(ListNode head) {

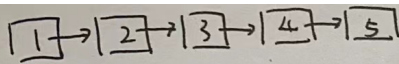
```

```

// 如果链表为空，则返回空
if (head == null) return null;
// 如果链表中只有只有一个元素，则直接返回
if (head.next == null) return head;
// 创建栈 每一个结点都入栈
Stack<ListNode> stack = new Stack<>();
ListNode cur = head;
while (cur != null) {
    stack.push(cur);
    cur = cur.next;
}
// 创建一个虚拟头结点
ListNode pHead = new ListNode(0);
cur = pHead;
while (!stack.isEmpty()) {
    ListNode node = stack.pop();
    cur.next = node;
    cur = cur.next;
}
// 最后一个元素的next要赋值为空
cur.next = null;
return pHead.next;
}

```

采用这种方法需要注意一点。就是当整个出栈循环结束以后，cur正好指向原来链表的第一个结点，而此时结点1中的next指向的是结点2，因此最后还需要 `cur.next = null`



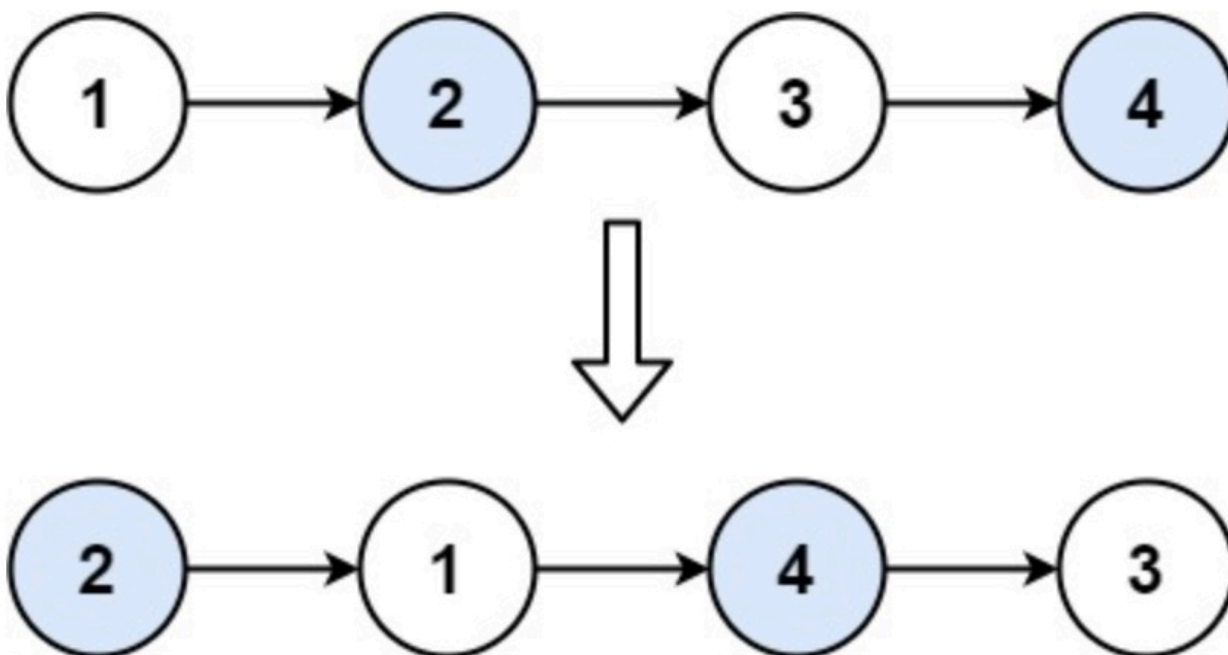
5. 两两交换链表中的节点

[力扣题目链接](#)

给定一个链表，两两交换其中相邻的节点，并返回交换后的链表。

你不能只是单纯的改变节点内部的值，而是需要实际的进行节点交换。

示例 1：



输入：head = [1,2,3,4]

输出：[2,1,4,3]

示例 2：

输入：head = []

输出：[]

示例 3：

输入：head = [1]

输出：[1]

算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课：[帮你把链表细节学清楚！](#) | [LeetCode：24. 两两交换链表中的节点](#)，相信结合视频再看本篇题解，更有助于大家对本题的理解。

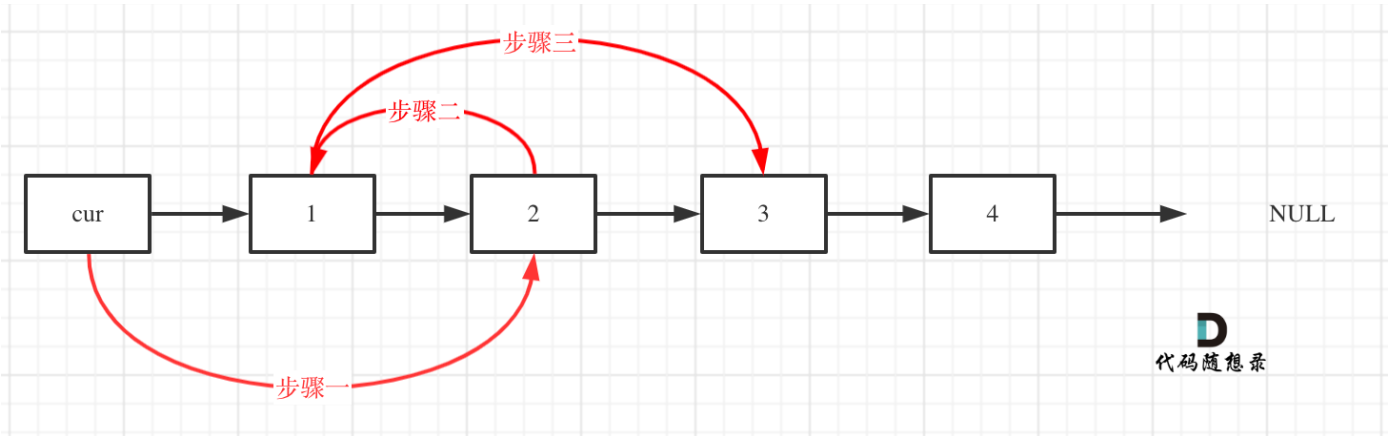
思路

这道题目正常模拟就可以了。

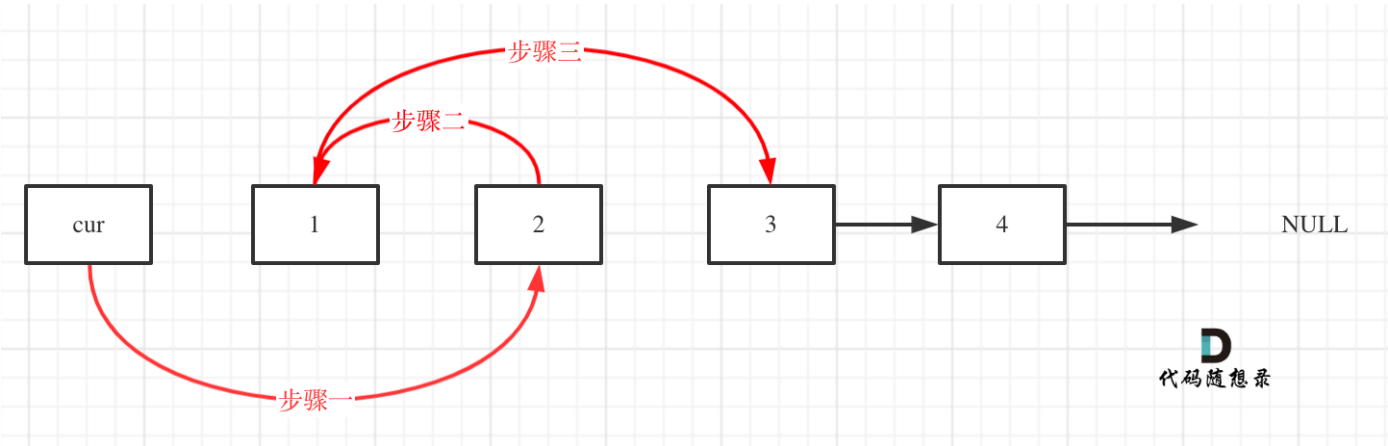
建议使用虚拟头结点，这样会方便很多，要不然每次针对头结点（没有前一个指针指向头结点），还要单独处理。

对虚拟头结点的操作，还不熟悉的话，可以看这篇[链表：听说用虚拟头节点会方便很多？](#)。

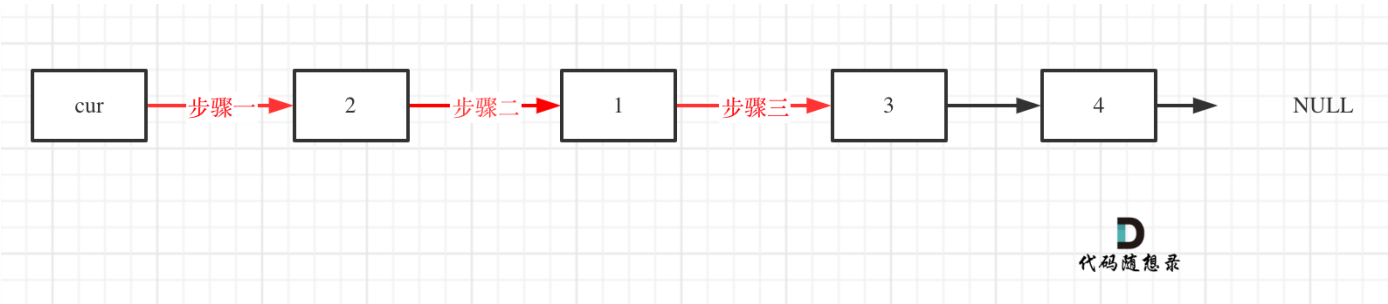
接下来就是交换相邻两个元素了，此时一定要画图，不画图，操作多个指针很容易乱，而且要操作的先后顺序
初始时，cur指向虚拟头结点，然后进行如下三步：



操作之后，链表如下：



看这个可能就更直观一些了：



对应的C++代码实现如下：（注释中详细和如上图中的三步做对应）

```
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，这样方面后面做删除操作
        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 = tmp1;        // 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
    }
    return dummyHead->next;
}
};

```

- 时间复杂度：O(n)
- 空间复杂度：O(1)

拓展

这里还是说一下，大家不必太在意力扣上执行用时，打败多少多少用户，这个统计不准确的。

做题的时候自己能分析出来时间复杂度就可以了，至于力扣上执行用时，大概看一下就行。

上面的代码我第一次提交执行用时8ms，打败6.5%的用户，差点吓到我了。

心想应该没有更好的方法了吧，也就O(n)的时间复杂度，重复提交几次，这样了：

执行结果： **通过** [显示详情](#)

执行用时： **0 ms** ，在所有 C++ 提交中击败了 **100.00%** 的用户

内存消耗： **7.6 MB** ，在所有 C++ 提交中击败了 **5.30%** 的用户

炫耀一下：



力扣上的统计如果两份代码是 100ms 和 300ms的耗时，其实是需要注意的。

如果一个 4ms 一个 12ms，看上去好像是一个打败了80%，一个打败了20%，其实是没有差别的。只不过是力扣上统计的误差而已。

6.删除链表的倒数第N个节点

[力扣题目链接](#)

给你一个链表，删除链表的倒数第 n 个结点，并且返回链表的头结点。

进阶：你能尝试使用一趟扫描实现吗？

The diagram illustrates the deletion of a node from a linked list. The top part shows a linked list with nodes 1, 2, 3, 4, and 5. Node 4 is highlighted in red. A large downward arrow indicates the deletion process. The bottom part shows the resulting linked list with nodes 1, 2, 3, and 5, where node 4 has been removed.

输出: [1]

算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课：：[链表遍历学清楚！](#) | [LeetCode：19.删除链表倒数第N个节点](#)，相信结合视频再看本篇题解，更有助于大家对链表的理解。

思路

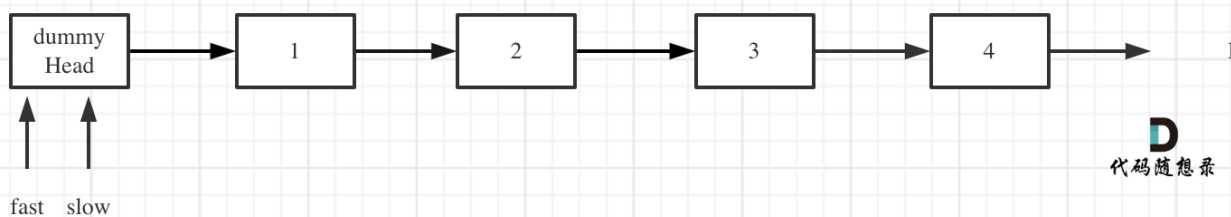
双指针的经典应用，如果要删除倒数第n个节点，让fast移动n步，然后让fast和slow同时移动，直到fast指向链表末尾。删掉slow所指向的节点就可以了。

思路是这样的，但要注意一些细节。

分为如下几步：

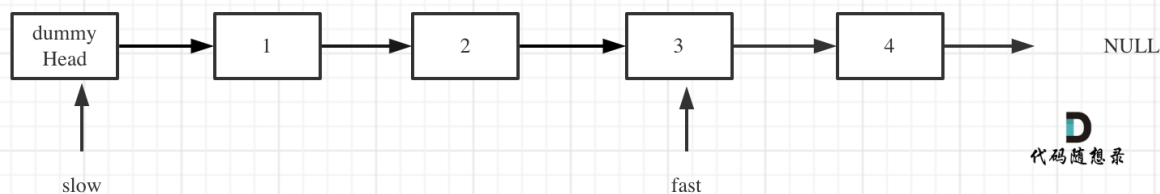
- 首先这里我推荐大家使用虚拟头结点，这样方便处理删除实际头结点的逻辑，如果虚拟头结点不清楚，可以看这篇：[链表：听说用虚拟头节点会方便很多？](#)
- 定义fast指针和slow指针，初始值为虚拟头结点，如图：

删除倒数第n的节点，举例n为2



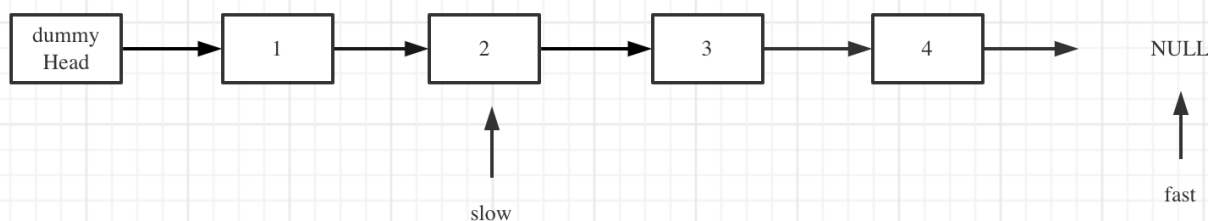
- fast首先走n + 1步，为什么是n+1呢，因为只有这样同时移动的时候slow才能指向删除节点的上一个节点（方便做删除操作），如图：

fast移动n+1，也就是移动3个单位



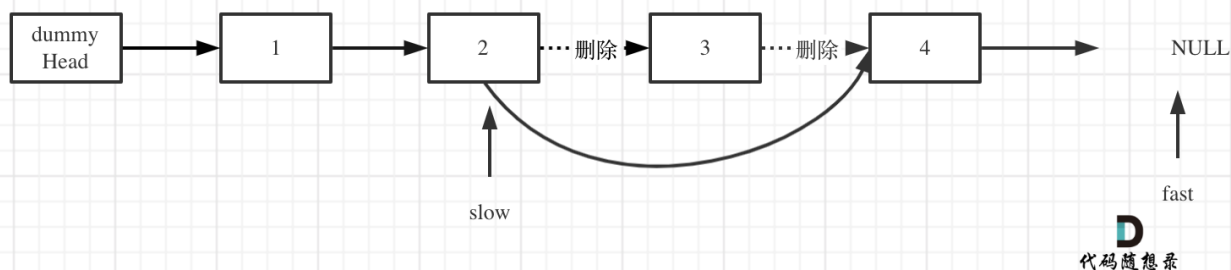
- fast和slow同时移动，直到fast指向末尾，如题：

slow和fast同时一定，直到fast指向null



- 删除slow指向的下一个节点，如图：

通过slow删除slow->next的节点



此时不难写出如下C++代码：

```
class Solution {
public:
    ListNode* removeNthFromEnd(ListNode* head, int n) {
        ListNode* dummyHead = new ListNode(0);
```



```

dummyHead->next = head;
ListNode* slow = dummyHead;
ListNode* fast = dummyHead;
while(n-- && fast != NULL) {
    fast = fast->next;
}
fast = fast->next; // fast再提前走一步，因为需要让slow指向删除节点的上一个节点
while (fast != NULL) {
    fast = fast->next;
    slow = slow->next;
}
slow->next = slow->next->next;

// ListNode *tmp = slow->next;  C++释放内存的逻辑
// slow->next = tmp->next;
// delete nth;

return dummyHead->next;
}
};

```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(1)$

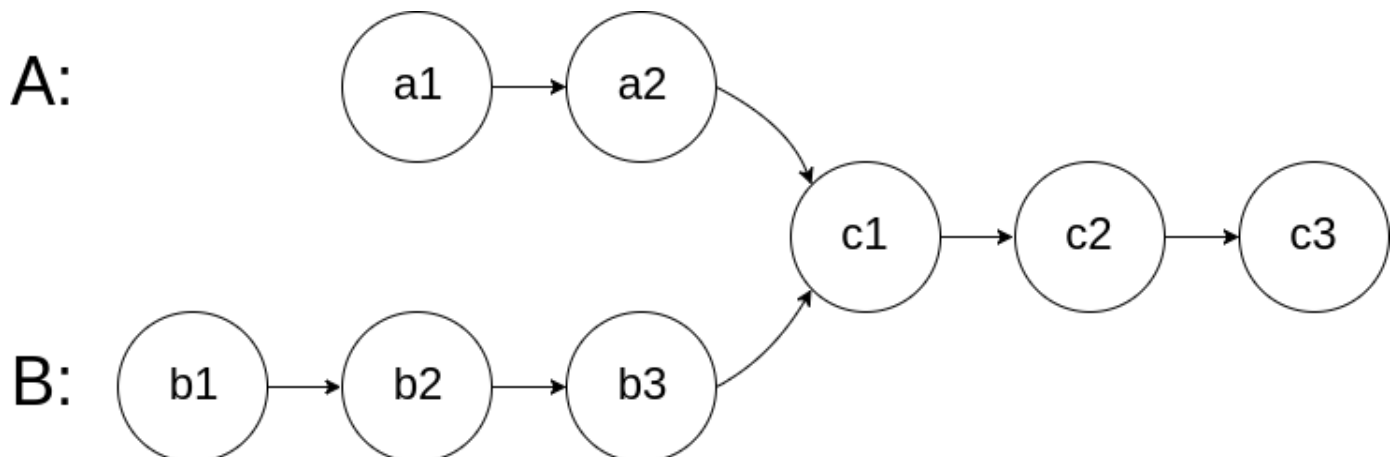
7. 面试题 02.07. 链表相交

同：160.链表相交

[力扣题目链接](#)

给你两个单链表的头节点 headA 和 headB，请你找出并返回两个单链表相交的起始节点。如果两个链表没有交点，返回 null。

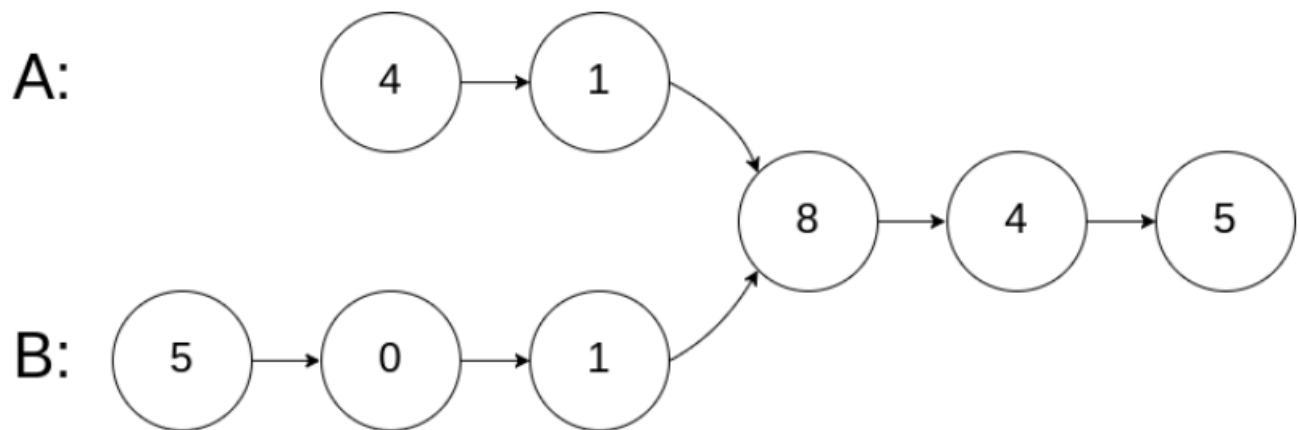
图示两个链表在节点 c1 开始相交：



题目数据 保证 整个链式结构中不存在环。

注意，函数返回结果后，链表必须 保持其原始结构。

示例 1：



输入：intersectVal = 8, listA = [4,1,8,4,5], listB = [5,0,1,8,4,5], skipA = 2, skipB = 3

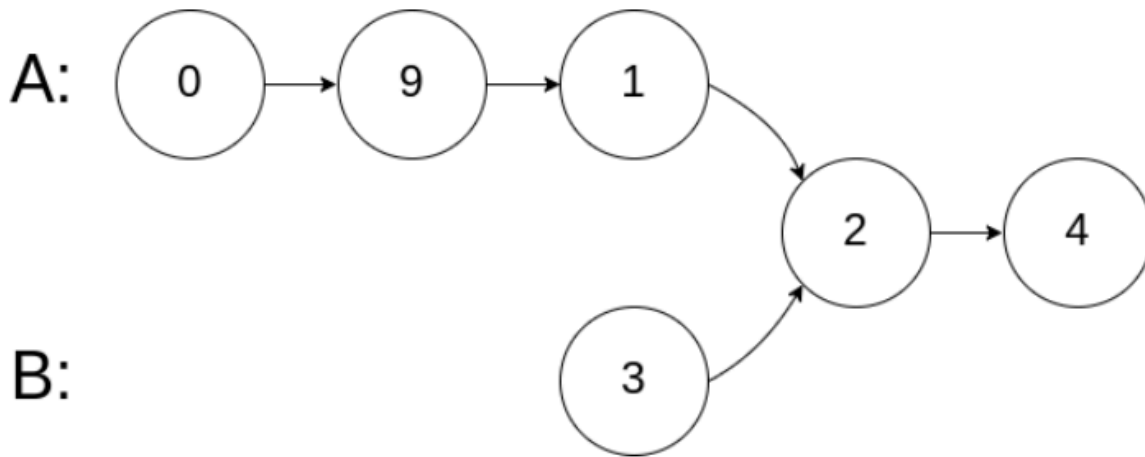
输出：Intersected at '8'

解释：相交节点的值为 8 （注意，如果两个链表相交则不能为 0）。

从各自的表头开始算起，链表 A 为 [4,1,8,4,5]，链表 B 为 [5,0,1,8,4,5]。

在 A 中，相交节点前有 2 个节点；在 B 中，相交节点前有 3 个节点。

示例 2：



输入: `intersectVal = 2`, `listA = [0,9,1,2,4]`, `listB = [3,2,4]`, `skipA = 3`, `skipB = 1`

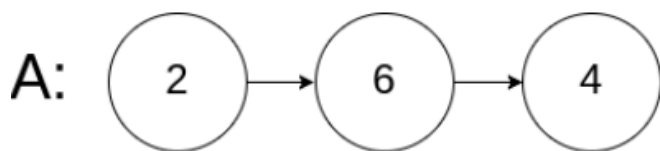
输出: `Intersected at '2'`

解释: 相交节点的值为 2 (注意, 如果两个链表相交则不能为 0)。

从各自的表头开始算起, 链表 A 为 `[0,9,1,2,4]`, 链表 B 为 `[3,2,4]`。

在 A 中, 相交节点前有 3 个节点; 在 B 中, 相交节点前有 1 个节点。

示例 3:



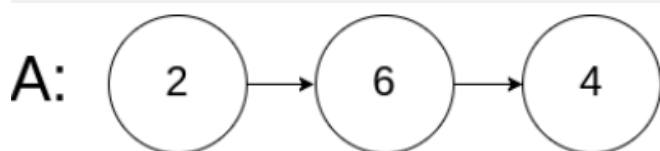
输入: `intersectVal = 0`, `listA = [2,6,4]`, `listB = [1,5]`,
`skipA = 3`, `skipB = 2`

输出: `null`

解释: 从各自的表头开始算起, 链表 A 为 `[2,6,4]`, 链表 B 为 `[1,5]`。

由于这两个链表不相交, 所以 `intersectVal` 必须为 `0`, 而 `skipA` 和 `skipB` 可以是任意值。

这两个链表不相交, 因此返回 `null`。



输入: `intersectVal = 0`, `listA = [2,6,4]`, `listB = [1,5]`,
`skipA = 3`, `skipB = 2`

输出: `null`

解释: 从各自的表头开始算起, 链表 A 为 `[2,6,4]`, 链表 B 为 `[1,5]`。

由于这两个链表不相交, 所以 `intersectVal` 必须为 `0`, 而 `skipA` 和 `skipB` 可以是任意值。

和 skipB 可以任意取值。

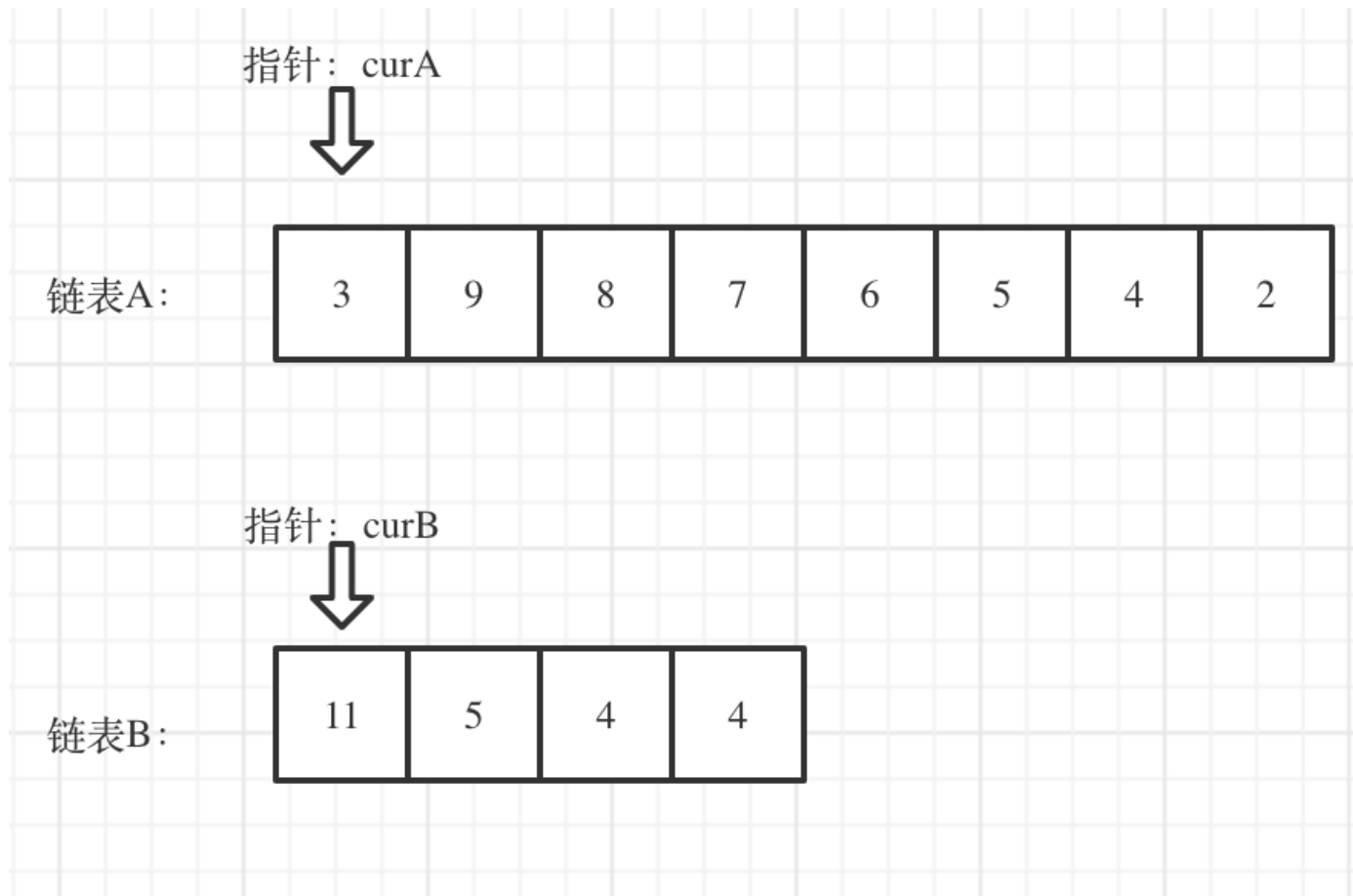
这两个链表不相交，因此返回 `null` 。

思路

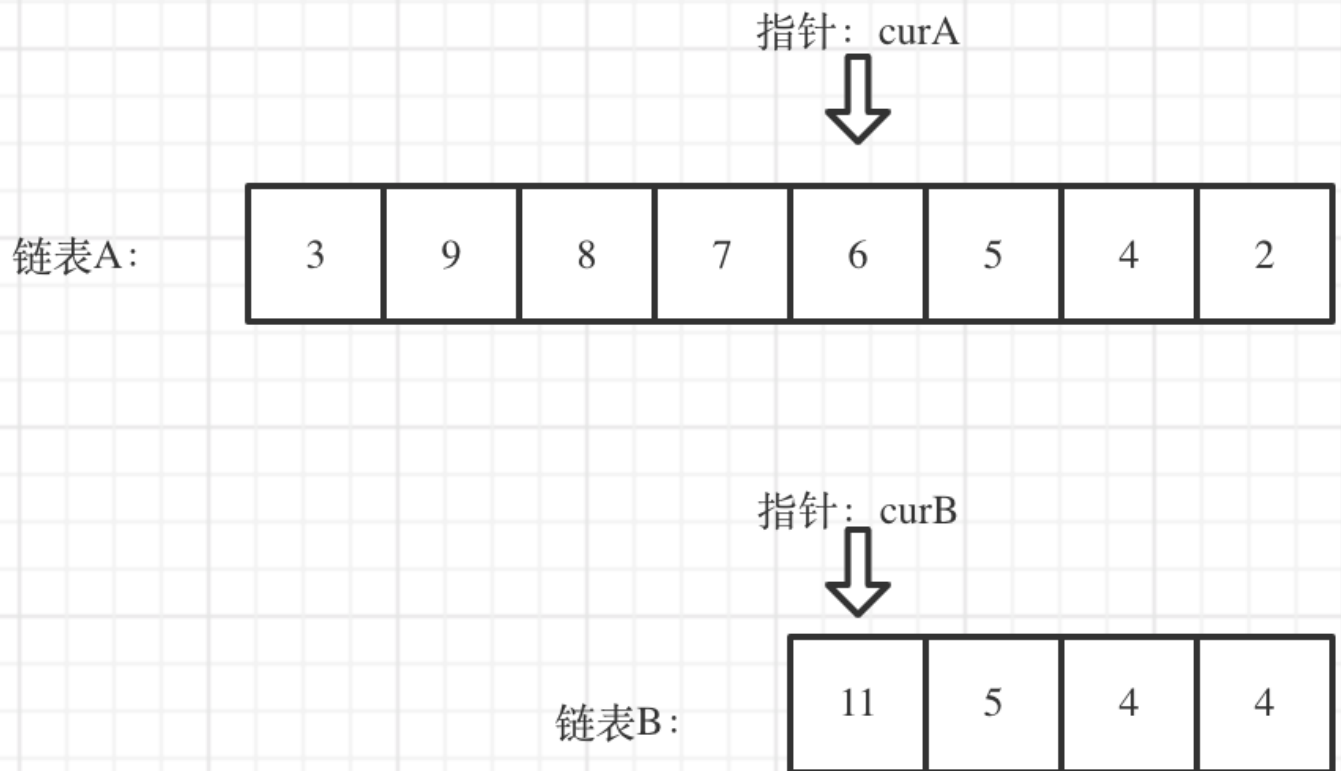
简单来说，就是求两个链表交点节点的**指针**。这里同学们要注意，交点不是数值相等，而是指针相等。

为了方便举例，假设节点元素数值相等，则节点指针相等。

看如下两个链表，目前curA指向链表A的头结点，curB指向链表B的头结点：



我们求出两个链表的长度，并求出两个链表长度的差值，然后让curA移动到，和curB 末尾对齐的位置，如图：



此时我们就可以比较curA和curB是否相同，如果不相同，同时向后移动curA和curB，如果遇到curA == curB，则找到交点。

否则循环退出返回空指针。

C++代码如下：

```
class Solution {
public:
    ListNode *getIntersectionNode(ListNode *headA, ListNode *headB) {
        ListNode* curA = headA;
        ListNode* curB = headB;
        int lenA = 0, lenB = 0;
        while (curA != NULL) { // 求链表A的长度
            lenA++;
            curA = curA->next;
        }
        while (curB != NULL) { // 求链表B的长度
            lenB++;
            curB = curB->next;
        }
        curA = headA;
        curB = headB;
        // 让curA为最长链表的头，lenA为其长度
        if (lenB > lenA) {
            swap (lenA, lenB);
        }
    }
};
```

```

        swap (curA, curB);
    }
    // 求长度差
    int gap = lenA - lenB;
    // 让curA和curB在同一起点上（末尾位置对齐）
    while (gap--) {
        curA = curA->next;
    }
    // 遍历curA 和 curB，遇到相同则直接返回
    while (curA != NULL) {
        if (curA == curB) {
            return curA;
        }
        curA = curA->next;
        curB = curB->next;
    }
    return NULL;
}
};

```

- 时间复杂度： $O(n + m)$
- 空间复杂度： $O(1)$

找到有没有环已经很难了，还要让我找到环的入口？

8.环形链表II

[力扣题目链接](#)

题意：

给定一个链表，返回链表开始入环的第一个节点。如果链表无环，则返回 null。

为了表示给定链表中的环，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）。如果 pos 是 -1，则在该链表中没有环。

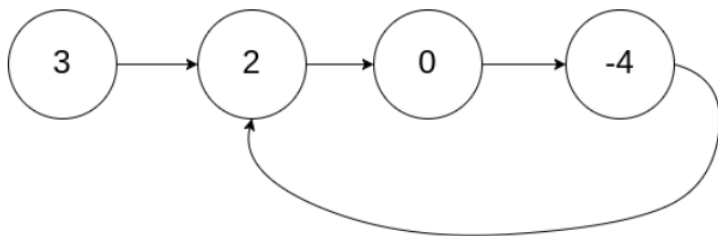
说明：不允许修改给定的链表。

示例 1:

输入: head = [3,2,0,-4], pos = 1

输出: tail connects to node index 1

解释: 链表中有一个环, 其尾部连接到第二个节点。

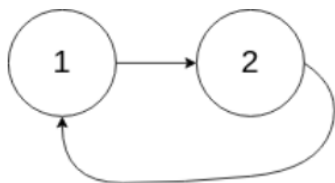


示例 2:

输入: head = [1,2], pos = 0

输出: tail connects to node index 0

解释: 链表中有一个环, 其尾部连接到第一个节点。



算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课: [把环形链表讲清楚! | LeetCode:142.环形链表II](#), 相信结合视频在看本篇题解, 更有助于大家对链表的理解。

思路

这道题目, 不仅考察对链表的操作, 而且还需要一些数学运算。

主要考察两知识点:

- 判断链表是否环
- 如果有环, 如何找到这个环的入口

判断链表是否有环

可以使用快慢指针法, 分别定义 fast 和 slow 指针, 从头结点出发, fast 指针每次移动两个节点, slow 指针每次移动一个节点, 如果 fast 和 slow 指针在途中相遇, 说明这个链表有环。

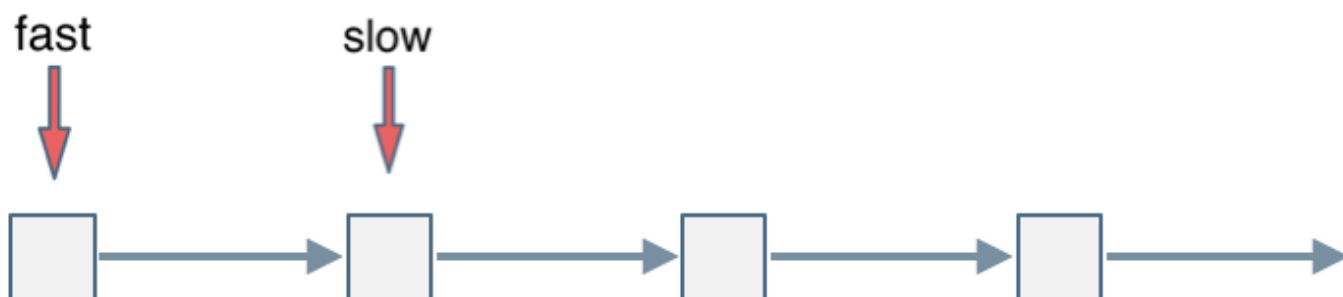
为什么 fast 走两个节点, slow 走一个节点, 有环的话, 一定会在环内相遇呢, 而不是永远的错开呢

首先第一点: **fast** 指针一定先进入环中, 如果 **fast** 指针和 **slow** 指针相遇的话, 一定是在环中相遇, 这是毋庸置疑的。

那么来看一下，为什么fast指针和slow指针一定会相遇呢？

可以画一个环，然后让 fast指针在任意一个节点开始追赶slow指针。

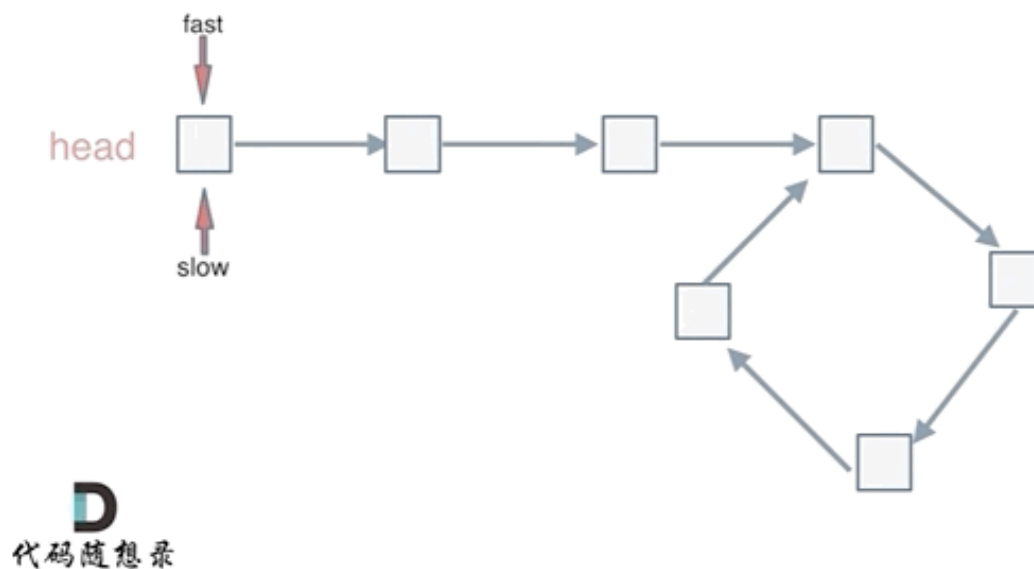
会发现最终都是这种情况， 如下图：



fast和slow各自再走一步， fast和slow就相遇了

这是因为fast是走两步，slow是走一步，其实相对于slow来说，fast是一个节点一个节点的靠近slow的，所以fast一定可以和slow重合。

动画如下：



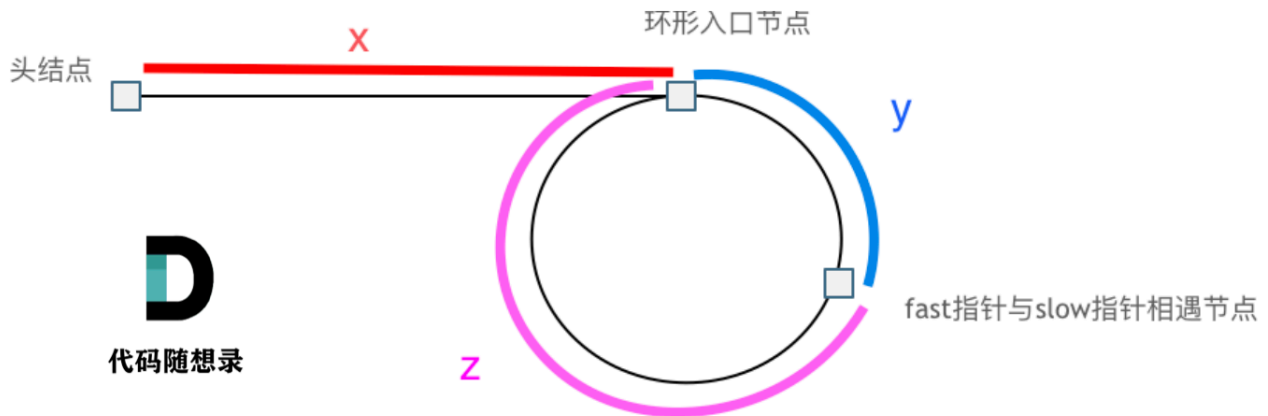
如果有环，如何找到这个环的入口

此时已经可以判断链表是否有环了，那么接下来要找这个环的入口了。

假设从头结点到环形入口节点的节点数为 x 。

环形入口节点到 fast指针与slow指针相遇节点 节点数为 y 。

从相遇节点 再到环形入口节点节点数为 z 。如图所示：



那么相遇时：

slow指针走过的节点数为： $x + y$ ，

fast指针走过的节点数： $x + y + n(y + z)$ ， n 为fast指针在环内走了 n 圈才遇到slow指针， $(y+z)$ 为一圈内节点的个数 A 。

因为fast指针是一步走两个节点，slow指针一步走一个节点，所以 fast指针走过的节点数 = slow指针走过的节点数 * 2：

$$(x + y) * 2 = x + y + n(y + z)$$

两边消掉一个 $(x+y)$ ： $x + y = n(y + z)$

因为要找环形的入口，那么要求的是 x ，因为 x 表示 头结点到 环形入口节点的的距离。

所以要求 x ，将 x 单独放在左面： $x = n(y + z) - y$ ，

再从 $n(y+z)$ 中提出一个 $(y+z)$ 来，整理公式之后为如下公式： $x = (n - 1)(y + z) + z$ 注意这里 n 一定是大于等于1的，因为 fast指针至少要多走一圈才能相遇slow指针。

这个公式说明什么呢？

先拿 n 为1的情况来举例，意味着fast指针在环形里转了一圈之后，就遇到了 slow指针了。

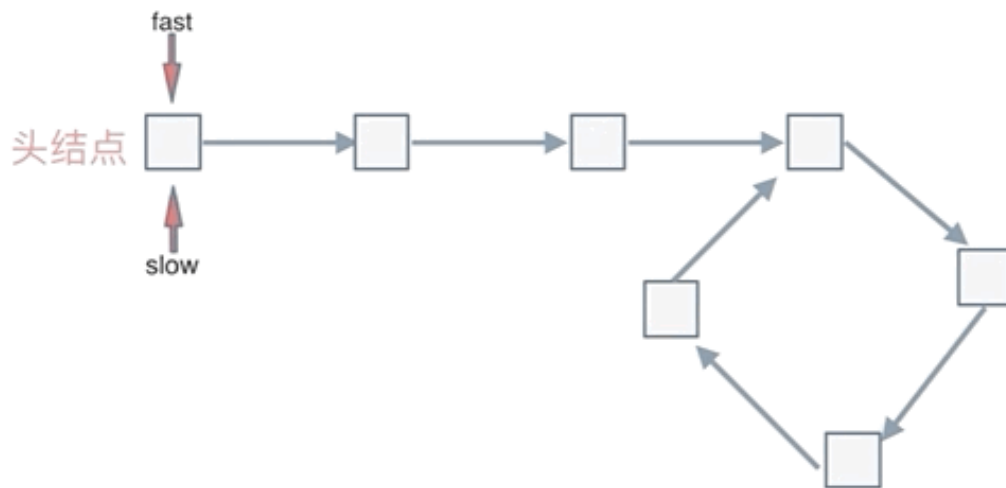
当 n 为1的时候，公式就化解为 $x = z$ ，

这就意味着，从头结点出发一个指针，从相遇节点 也出发一个指针，这两个指针每次只走一个节点，那么当这两个指针相遇的时候就是 环形入口的节点。

也就是在相遇节点处，定义一个指针index1，在头结点处定一个指针index2。

让index1和index2同时移动，每次移动一个节点，那么他们相遇的地方就是 环形入口的节点。

动画如下：



那么 n 如果大于1是什么情况呢，就是fast指针在环形转 n 圈之后才遇到 slow指针。

其实这种情况和 n 为1的时候 效果是一样的，一样可以通过这个方法找到 环形的入口节点，只不过，index1 指针在环里 多转了 $(n-1)$ 圈，然后再遇到index2，相遇点依然是环形的入口节点。

代码如下：

```
/**
 * 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;
};

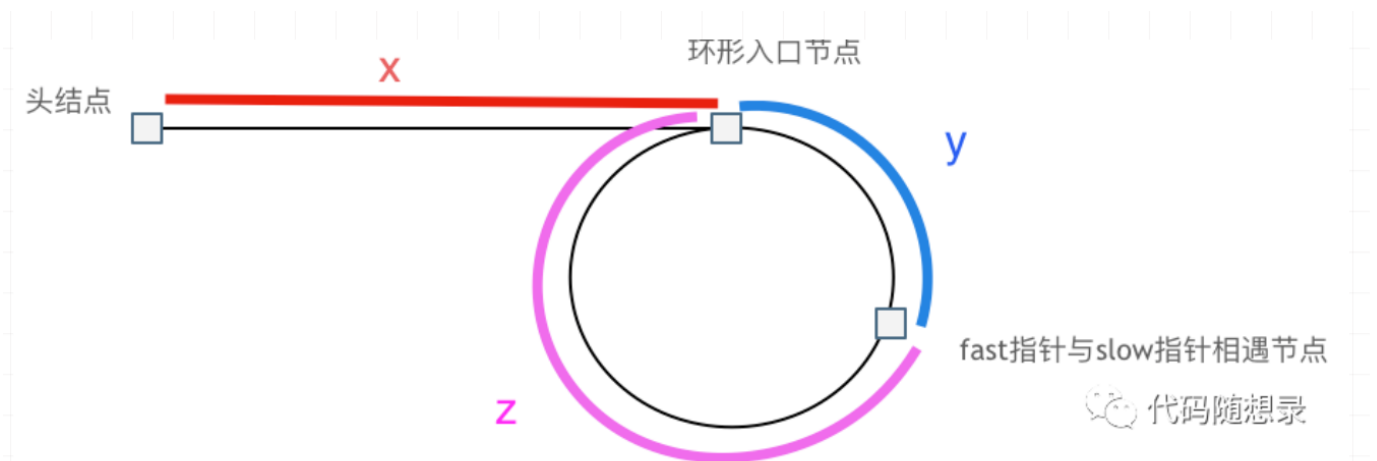
```

- 时间复杂度: $O(n)$, 快慢指针相遇前, 指针走的次数小于链表长度, 快慢指针相遇后, 两个index指针走的次数也小于链表长度, 总体为走的次数小于 $2n$
- 空间复杂度: $O(1)$

补充

在推理过程中, 大家可能有一个疑问就是: 为什么第一次在环中相遇, **slow** 的步数是 $x+y$ 而不是 $x + \text{若干环的长度} + y$ 呢?

即文章[链表: 环找到了, 那入口呢?](#) 中如下的地方:

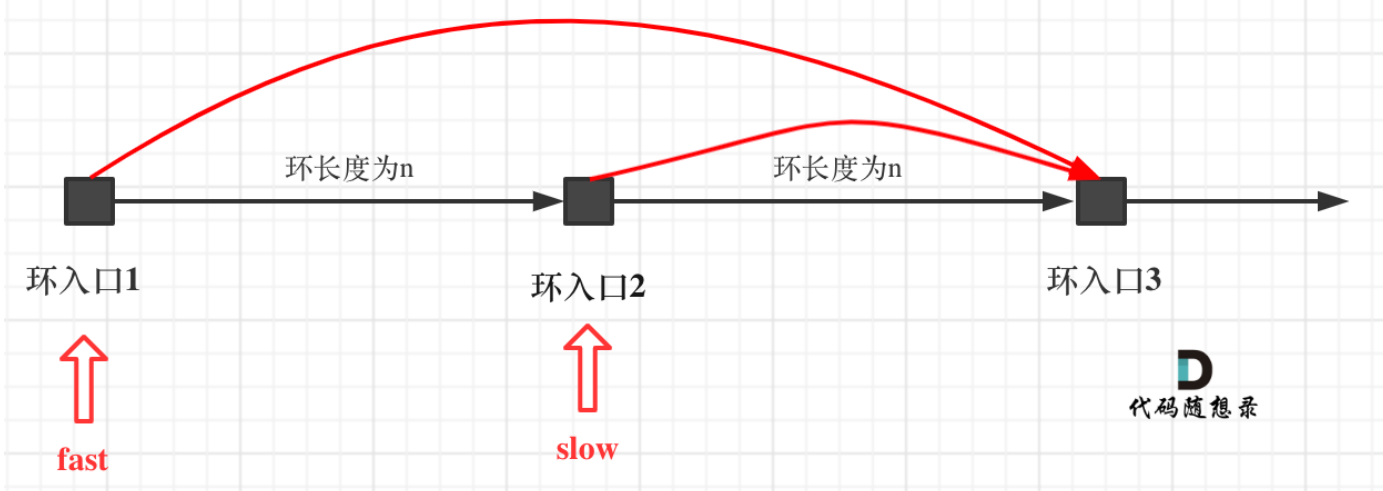


那么相遇时: **slow** 指针走过的节点数为: $x + y$, **fast** 指针走过的节点数: $x + y + n(y + z)$, n 为 **fast** 指针在环内走了 n 圈才遇到 **slow** 指针, $(y+z)$ 为一圈内节点的个数 A 。

首先 **slow** 进环的时候, **fast** 一定是先进环来了。

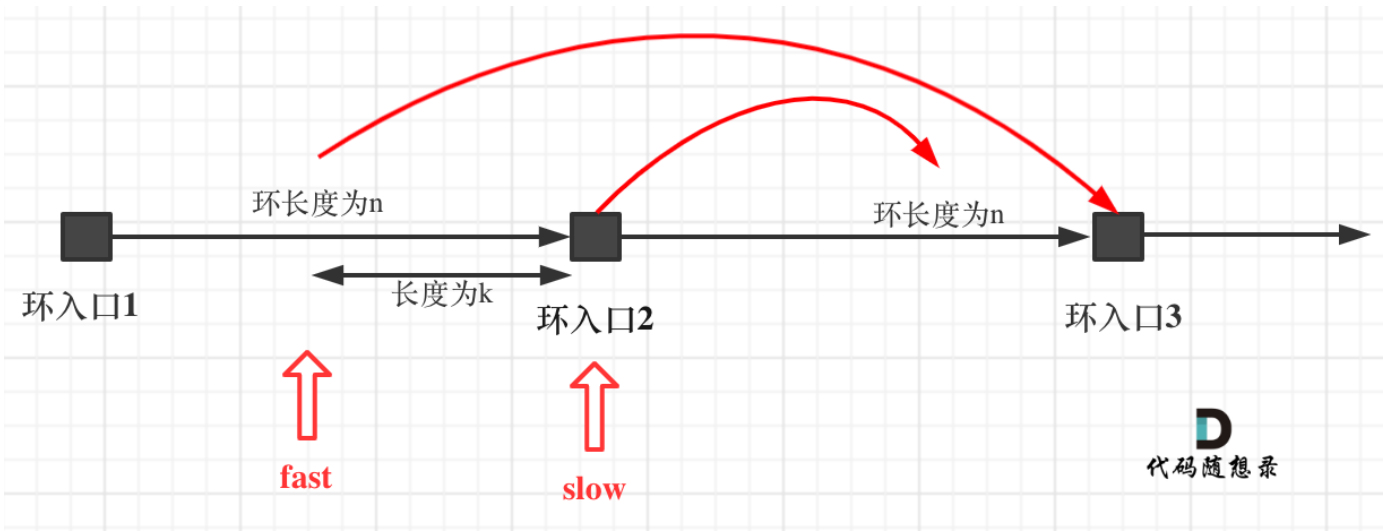
如果 **slow** 进环入口, **fast** 也在环入口, 那么把这个环展开成直线, 就是如下图的样子:

注意此图相当于把三个环展开成直线
后面还可以接无数条直线，表示循环若干圈



可以看出如果slow 和 fast同时在环入口开始走，一定会在环入口3相遇，slow走了一圈，fast走了两圈。

重点来了，slow进环的时候，fast一定是在环的任意一个位置，如图：



那么fast指针走到环入口3的时候，已经走了 $k + n$ 个节点，slow相应的应该走了 $(k + n) / 2$ 个节点。

因为k是小于n的（图中可以看出），所以 $(k + n) / 2$ 一定小于n。

也就是说slow一定没有走到环入口3，而fast已经到环入口3了。

这说明什么呢？

在slow开始走的那一环已经和fast相遇了。

那有同学又说了，为什么fast不能跳过去呢？在刚刚已经说过一次了，fast相对于slow是一次移动一个节点，所以不可能跳过去。

好了，这次把为什么第一次在环中相遇，slow的步数是 $x + y$ 而不是 $x + \text{若干环的长度} + y$ ，用数学推理了一下，算是对[链表：环找到了，那入口呢？](#)的补充。

总结

这次可以说把环形链表这道题目的各个细节，完完整整的证明了一遍，说这是全网最详细讲解不为过吧，哈哈。

9. 链表总结篇

链表的理论基础

在这篇文章[关于链表，你该了解这些！](#)中，介绍了如下几点：

- 链表的种类主要为：单链表，双链表，循环链表
- 链表的存储方式：链表的节点在内存中是分散存储的，通过指针连在一起。
- 链表是如何进行增删改查的。
- 数组和链表在不同场景下的性能分析。

可以说把链表基础的知识都概括了，但又不像教科书那样的繁琐。

链表经典题目

虚拟头结点

在[链表：听说用虚拟头节点会方便很多？](#)中，我们讲解了链表操作中一个非常总要的技巧：虚拟头节点。

链表的一大问题就是操作当前节点必须要找前一个节点才能操作。这就造成了，头结点的尴尬，因为头结点没有前一个节点了。

每次对应头结点的情况都要单独处理，所以使用虚拟头结点的技巧，就可以解决这个问题。

在[链表：听说用虚拟头节点会方便很多？](#)中，我给出了用虚拟头结点和没用虚拟头结点的代码，大家对比一下就会发现，使用虚拟头结点的好处。

链表的基本操作

在[链表：一道题目考察了常见的五个操作！](#)中，我们通设计链表把链表常见的五个操作练习了一遍。

这是练习链表基础操作的非常好的一道题目，考察了：

- 获取链表第index个节点的数值
- 在链表的最前面插入一个节点
- 在链表的最后面插入一个节点
- 在链表第index个节点前面插入一个节点
- 删除链表的第index个节点的数值

可以说把这道题目做了，链表基本操作就OK了，再也不用担心链表增删改查整不明白了。

这里我依然使用了虚拟头结点的技巧，大家复习的时候，可以去看一下代码。

反转链表

在[链表：听说过两天反转链表又写不出来了？](#)中，讲解了如何反转链表。

因为反转链表的代码相对简单，有的同学可能直接背下来了，但一写还是容易出问题。

反转链表是面试中高频题目，很考察面试者对链表操作的熟练程度。

我在[文章](#)中，给出了两种反转的方式，迭代法和递归法。

建议大家先学透迭代法，然后再看递归法，因为递归法比较绕，如果迭代还写不明白，递归基本也写明白了。

可以先通过迭代法，彻底弄清楚链表反转的过程！

删除倒数第N个节点

在[链表：删除链表倒数第N个节点，怎么删？](#)中我们结合虚拟头结点 和 双指针法来移除链表倒数第N个节点。

链表相交

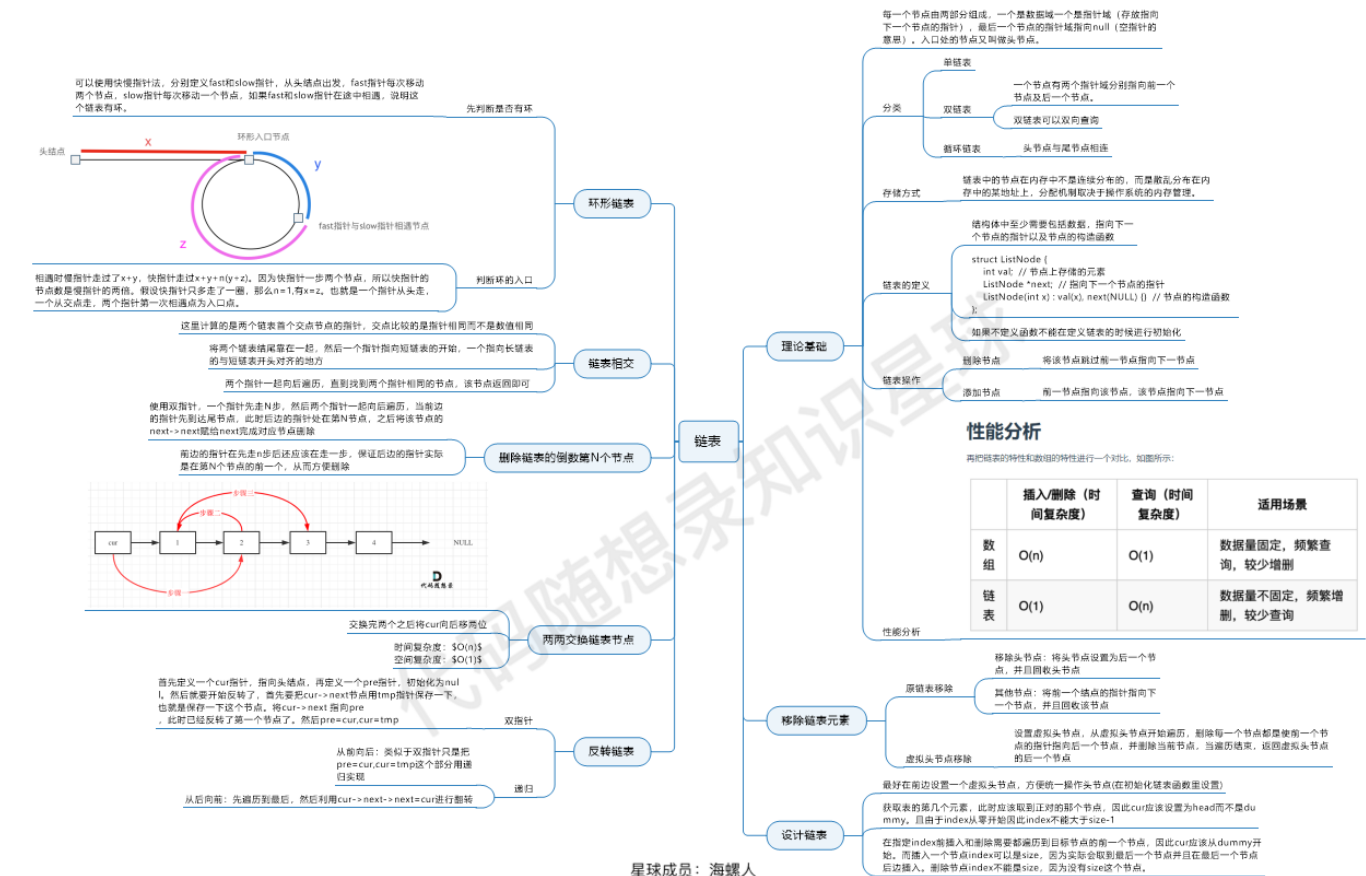
[链表：链表相交](#)使用双指针来找到两个链表的交点（引用完全相同，即：内存地址完全相同的交点）

环形链表

在[链表：环找到了，那入口呢？](#)中，讲解了在链表如何找环，以及如何找环的入口位置。

这道题目可以说是链表的比较难的题目了。但代码却十分简洁，主要在于一些数学证明。

总结



这个图是 [代码随想录知识星球](#) 成员：[海螺人](#)，所画，总结的非常好，分享给大家。

考察链表的操作其实就是考察指针的操作，是面试中的常见类型。

链表篇中开头介绍[链表理论知识](#)，然后分别通过经典题目介绍了如下知识点：

1. [关于链表，你该了解这些！](#)
2. [虚拟头结点的技巧](#)
3. [链表的增删改查](#)
4. [反转一个链表](#)
5. [删除倒数第N个节点](#)
6. [链表相交](#)
7. [有否环形，以及环的入口](#)