



《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.programmercarl.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. 移除元素

[力扣题目链接](#)

给你一个数组 `nums` 和一个值 `val`，你需要 原地 移除所有数值等于 `val` 的元素，并返回移除后数组的新长度。

不要使用额外的数组空间，你必须仅使用 $O(1)$ 额外空间并原地修改输入数组。

元素的顺序可以改变。你不需要考虑数组中超出新长度后面的元素。

示例 1:

给定 `nums = [3,2,2,3]`, `val = 3`,

函数应该返回新的长度 2, 并且 `nums` 中的前两个元素均为 2。

你不需要考虑数组中超出新长度后面的元素。

示例 2:

给定 `nums = [0,1,2,2,3,0,4,2]`, `val = 2`,

函数应该返回新的长度 5, 并且 `nums` 中的前五个元素为 0, 1, 3, 0, 4。

你不需要考虑数组中超出新长度后面的元素。

算法公开课

[《代码随想录》算法视频公开课：数组中移除元素并不容易！LeetCode：27. 移除元素](#)，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

有的同学可能说了，多余的元素，删掉不就得了。

要知道数组的元素在内存地址中是连续的，不能单独删除数组中的某个元素，只能覆盖。

数组的基础知识可以看这里[程序员算法面试中，必须掌握的数组理论知识](#)。

暴力解法

这个题目暴力的解法就是两层for循环，一个for循环遍历数组元素，第二个for循环更新数组。

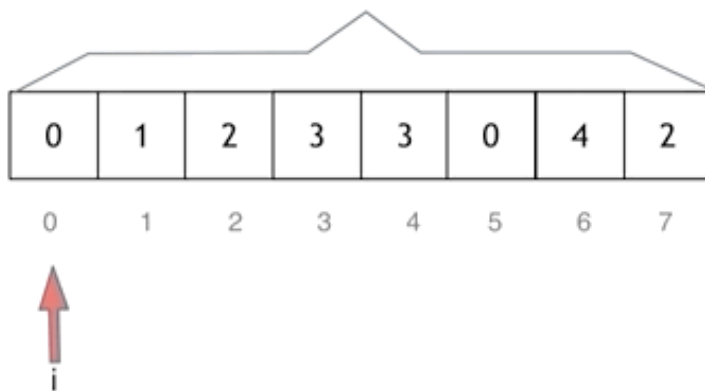
删除过程如下：

nums = [0,1,2,3,3,0,4,2], 删除元素2,

size = 8

数组：

下表：



D
代码随想录

很明显暴力解法的时间复杂度是 $O(n^2)$ ，这道题目暴力解法在leetcode上是可以过的。

代码如下：

```
// 时间复杂度：O(n^2)
// 空间复杂度：O(1)
class Solution {
public:
    int removeElement(vector<int>& nums, int val) {
        int size = nums.size();
        for (int i = 0; i < size; i++) {
```

```

        if (nums[i] == val) { // 发现需要移除的元素，就将数组集体向前移动一位
            for (int j = i + 1; j < size; j++) {
                nums[j - 1] = nums[j];
            }
            i--; // 因为下标i以后的数值都向前移动了一位，所以i也向前移动一位
            size--; // 此时数组的大小-1
        }
    }
    return size;
}
};

```

- 时间复杂度： $O(n^2)$
- 空间复杂度： $O(1)$

双指针法

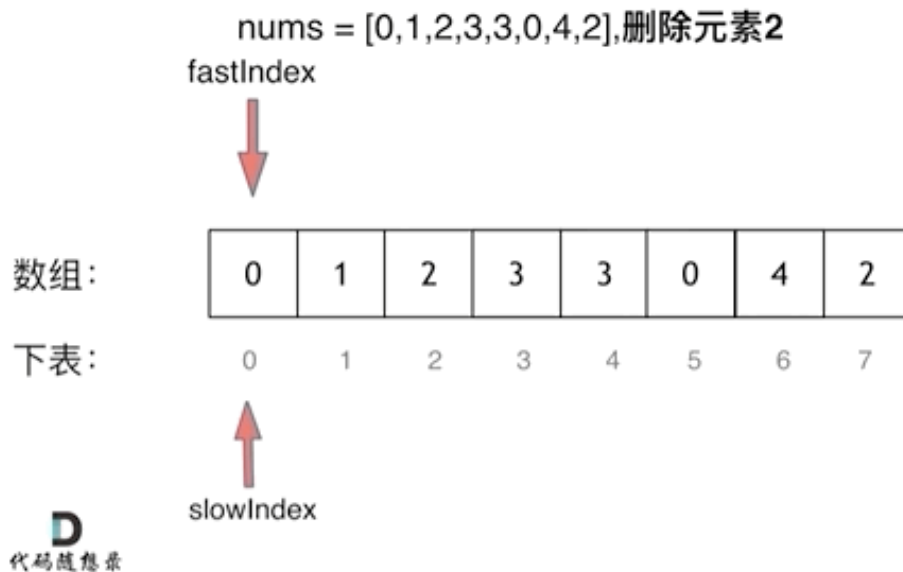
双指针法（快慢指针法）：通过一个快指针和慢指针在一个for循环下完成两个for循环的工作。

定义快慢指针

- 快指针：寻找新数组的元素，新数组就是不含有目标元素的数组
- 慢指针：指向更新 新数组下标的位置

很多同学这道题目做的很懵，就是不理解 快慢指针究竟是什么含义，所以一定要明确含义，后面的思路就更容易理解了。

删除过程如下：



很多同学不了解

双指针法（快慢指针法）在数组和链表的操作中是非常常见的，很多考察数组、链表、字符串等操作的面试题，都使用双指针法。

后续都会一一介绍到，本题代码如下：

```
// 时间复杂度：O(n)
// 空间复杂度：O(1)
class Solution {
public:
    int removeElement(vector<int>& nums, int val) {
        int slowIndex = 0;
        for (int fastIndex = 0; fastIndex < nums.size(); fastIndex++) {
            if (val != nums[fastIndex]) {
                nums[slowIndex++] = nums[fastIndex];
            }
        }
        return slowIndex;
    }
};
```

注意这些实现方法并没有改变元素的相对位置！

- 时间复杂度：O(n)
- 空间复杂度：O(1)

```
/**
 * 相向双指针方法，基于元素顺序可以改变的题目描述改变了元素相对位置，确保了移动最少元素
 * 时间复杂度：O(n)
 * 空间复杂度：O(1)
 */
class Solution {
public:
    int removeElement(vector<int>& nums, int val) {
        int leftIndex = 0;
        int rightIndex = nums.size() - 1;
        while (leftIndex <= rightIndex) {
            // 找左边等于val的元素
            while (leftIndex <= rightIndex && nums[leftIndex] != val) {
                ++leftIndex;
            }
            // 找右边不等于val的元素
            while (leftIndex <= rightIndex && nums[rightIndex] == val) {
                --rightIndex;
            }
            // 将右边不等于val的元素覆盖左边等于val的元素
            if (leftIndex < rightIndex) {
                nums[leftIndex++] = nums[rightIndex--];
            }
        }
    }
};
```

```
        return leftIndex;    // leftIndex一定指向了最终数组末尾的下一个元素
    }
};
```

相关题目推荐

- [26.删除排序数组中的重复项](#)
- [283.移动零](#)
- [844.比较含退格的字符串](#)
- [977.有序数组的平方](#)

打基础的时候，不要太迷恋于库函数。

2.反转字符串

力扣题目链接

编写一个函数，其作用是将输入的字符串反转过来。输入字符串以字符数组 `char[]` 的形式给出。

不要给额外的数组分配额外的空间，你必须原地修改输入数组、使用 $O(1)$ 的额外空间解决这一问题。

你可以假设数组中的所有字符都是 ASCII 码表中的可打印字符。

示例 1：

输入：["h","e","l","l","o"]

输出：["o","l","l","e","h"]

示例 2：

输入：["H","a","n","n","a","h"]

输出：["h","a","n","n","a","H"]

算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课：[字符串基础操作！ | LeetCode: 344.反转字符串](#)，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

先说一说题外话：

对于这道题目一些同学直接用C++里的一个库函数 `reverse`，调一下直接完事了，相信每一门编程语言都有这样的库函数。

如果这么做题的话，这样大家不会清楚反转字符串的实现原理了。

但是也不是说库函数就不能用，是要分场景的。

如果在现场面试中，我们什么时候使用库函数，什么时候不要用库函数呢？

如果题目关键的部分直接用库函数就可以解决，建议不要使用库函数。

毕竟面试官一定不是考察你对库函数的熟悉程度，如果使用python和java的同学更需要注意这一点，因为python、java提供的库函数十分丰富。

如果库函数仅仅是 解题过程中的一小部分，并且你已经很清楚这个库函数的内部实现原理的话，可以考虑使用库函数。

建议大家平时在leetcode上练习算法的时候本着这样的原则去练习，这样才有助于我们对算法的理解。

不要沉迷于使用库函数一行代码解决题目之类的技巧，不是说这些技巧不好，而是说这些技巧可以用来娱乐一下。

真正自己写的时候，要保证理解可以实现是相应的功能。

接下来再来讲一下如何解决反转字符串的问题。

大家应该还记得，我们已经讲过了[206.反转链表](#)。

在反转链表中，使用了双指针的方法。

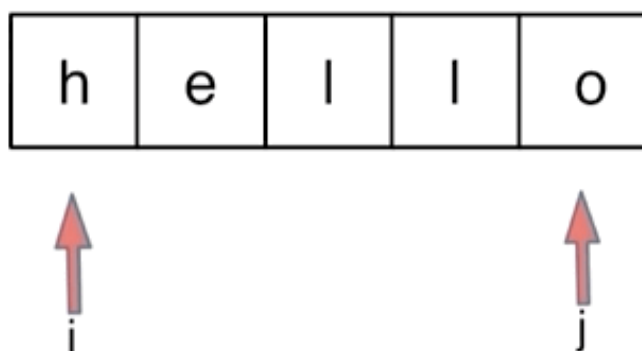
那么反转字符串依然是使用双指针的方法，只不过对于字符串的反转，其实要比链表简单一些。

因为字符串也是一种数组，所以元素在内存中是连续分布，这就决定了反转链表和反转字符串方式上还是有所差异的。

如果对数组和链表原理不清楚的同学，可以看这两篇，[关于链表，你该了解这些！](#)，[必须掌握的数组理论知识](#)。

对于字符串，我们定义两个指针（也可以说是索引下标），一个从字符串前面，一个从字符串后面，两个指针同时向中间移动，并交换元素。

以字符串 `hello` 为例，过程如下：



不难写出如下C++代码:

```
void reverseString(vector<char>& s) {
    for (int i = 0, j = s.size() - 1; i < s.size()/2; i++, j--) {
        swap(s[i],s[j]);
    }
}
```

循环里只要做交换s[i] 和s[j]操作就可以了，那么我这里使用了swap 这个库函数。大家可以使用。

因为相信大家都知道交换函数如何实现，而且这个库函数仅仅是解题中的一部分， 所以这里使用库函数也是可以的。

swap可以有两种实现。

一种就是常见的交换数值：

```
int tmp = s[i];
s[i] = s[j];
s[j] = tmp;
```

一种就是通过位运算：

```
s[i] ^= s[j];
s[j] ^= s[i];
s[i] ^= s[j];
```

这道题目还是比较简单的，但是我正好可以通过这道题目说一说在刷题的时候，使用库函数的原则。

如果题目关键的部分直接用库函数就可以解决，建议不要使用库函数。

如果库函数仅仅是 解题过程中的一小部分，并且你已经很清楚这个库函数的内部实现原理的话，可以考虑使用库函数。

本着这样的原则，我没有使用reverse库函数，而使用swap库函数。

在字符串相关的题目中，库函数对大家的诱惑力是非常大的，因为会有各种反转，切割取词之类的操作，这也是为什么字符串的库函数这么丰富的原因。

相信大家本着我所讲述的原则来做字符串相关的题目，在选择库函数的角度上会有所原则，也会有所收获。

C++代码如下：

```
class Solution {
public:
    void reverseString(vector<char>& s) {
        for (int i = 0, j = s.size() - 1; i < s.size()/2; i++, j--) {
            swap(s[i],s[j]);
        }
    }
};
```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(1)$

3. 剑指Offer 05.替换空格

[力扣题目链接](#)

请实现一个函数，把字符串 s 中的每个空格替换成"%20"。

示例 1:

输入: $s = \text{"We are happy."}$

输出: $\text{"We\%20are\%20happy."}$

思路

如果想把这道题目做到极致，就不要只用额外的辅助空间了！

首先扩充数组到每个空格替换成"%20"之后的大小。

然后从后向前替换空格，也就是双指针法，过程如下：

i 指向新长度的末尾， j 指向旧长度的末尾。

输入: $s = \text{"We are h"}$

W	e		a	r	e		h
---	---	--	---	---	---	--	---



有同学问了，为什么要从后向前填充，从前向后填充不行么？

从前向后填充就是 $O(n^2)$ 的算法了，因为每次添加元素都要将添加元素之后的所有元素向后移动。

其实很多数组填充类的问题，都可以先预先给数组扩容到填充后的大小，然后在从后向前进行操作。

这么做有两个好处：

1. 不用申请新数组。
2. 从后向前填充元素，避免了从前向后填充元素时，每次添加元素都要将添加元素之后的所有元素向后移动的问题。

时间复杂度，空间复杂度均超过100%的用户。

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： **6.2 MB** ，在所有 C++ 提交中击败了 **100.00%** 的用户

C++代码如下：

```
class Solution {
public:
    string replaceSpace(string s) {
        int count = 0; // 统计空格的个数
        int sOldSize = s.size();
        for (int i = 0; i < s.size(); i++) {
            if (s[i] == ' ') {
                count++;
            }
        }
        // 扩充字符串s的大小，也就是每个空格替换成"%20"之后的大小
        s.resize(s.size() + count * 2);
        int sNewSize = s.size();
        // 从后先前将空格替换为"%20"
        for (int i = sNewSize - 1, j = sOldSize - 1; j < i; i--, j--) {
            if (s[j] != ' ') {
                s[i] = s[j];
            } else {
                s[i] = '0';
                s[i - 1] = '2';
                s[i - 2] = '%';
                i -= 2;
            }
        }
        return s;
    }
};
```

- 时间复杂度：O(n)
- 空间复杂度：O(1)

此时算上本题，我们已经做了七道双指针相关的题目了分别是：

- [27.移除元素](#)
- [15.三数之和](#)
- [18.四数之和](#)
- [206.翻转链表](#)
- [142.环形链表II](#)
- [344.反转字符串](#)

拓展

这里也给大家拓展一下字符串和数组有什么差别，

字符串是若干字符组成的有限序列，也可以理解为一个字符数组，但是很多语言对字符串做了特殊的规定，接下来我来说一说C/C++中的字符串。

在C语言中，把一个字符串存入一个数组时，也把结束符 '\0' 存入数组，并以此作为该字符串是否结束的标志。

例如这段代码：

```
char a[5] = "asd";
for (int i = 0; a[i] != '\0'; i++) {
}
```

在C++中，提供一个string类，string类会提供 size接口，可以用来判断string类字符串是否结束，就不用 '\0' 来判断是否结束。

例如这段代码：

```
string a = "asd";
for (int i = 0; i < a.size(); i++) {
}
```

那么vector< char > 和 string 又有什么区别呢？

其实在基本操作上没有区别，但是 string 提供更多的字符串处理的相关接口，例如string 重载了+，而vector却没有。

所以想处理字符串，我们还是会定义一个string类型。

综合考察字符串操作的好题。

4.翻转字符串里的单词

[力扣题目链接](#)

给定一个字符串，逐个翻转字符串中的每个单词。

示例 1:

输入: "the sky is blue"

输出: "blue is sky the"

示例 2:

输入: " hello world! "

输出: "world! hello"

解释: 输入字符串可以在前面或者后面包含多余的空格, 但是反转后的字符不能包括。

示例 3:

输入: "a good example"

输出: "example good a"

解释: 如果两个单词间有多余的空格, 将反转后单词间的空格减少到只含一个。

算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课: [字符串复杂操作拿捏了! | LeetCode:151.翻转字符串里的单词](#), 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

这道题目可以说是综合考察了字符串的多种操作。

一些同学会使用split库函数, 分隔单词, 然后定义一个新的string字符串, 最后再把单词倒序相加, 那么这道题目就是一道水题了, 失去了它的意义。

所以这里我还是提高一下本题的难度: **不要使用辅助空间, 空间复杂度要求为 $O(1)$ 。**

不能使用辅助空间之后, 那么只能在原字符串上下功夫了。

想一下, 我们将整个字符串都反转过来, 那么单词的顺序指定是倒序了, 只不过单词本身也倒序了, 那么再把单词反转一下, 单词不就正过来了。

所以解题思路如下:

- 移除多余空格
- 将整个字符串反转
- 将每个单词反转

举个例子, 源字符串为: "the sky is blue "

- 移除多余空格: "the sky is blue"
- 字符串反转: "eulb si yks eht"
- 单词反转: "blue is sky the"

这样我们就完成了翻转字符串里的单词。

思路很明确了, 我们说一说代码的实现细节, 就拿移除多余空格来说, 一些同学会上来写如下代码:

```
void removeExtraSpaces(string& s) {
    for (int i = s.size() - 1; i > 0; i--) {
        if (s[i] == s[i - 1] && s[i] == ' ') {
```

```

        s.erase(s.begin() + i);
    }
}
// 删除字符串最后面的空格
if (s.size() > 0 && s[s.size() - 1] == ' ') {
    s.erase(s.begin() + s.size() - 1);
}
// 删除字符串最前面的空格
if (s.size() > 0 && s[0] == ' ') {
    s.erase(s.begin());
}
}

```

逻辑很简单，从前向后遍历，遇到空格了就erase。

如果不仔细琢磨一下erase的时间复杂度，还以为以上的代码是O(n)的时间复杂度呢。

想一下真正的时间复杂度是多少，一个erase本来就是O(n)的操作。

erase操作上面还套了一个for循环，那么以上代码移除冗余空格的代码时间复杂度为O(n²)。

那么使用双指针法来去移除空格，最后resize（重新设置）一下字符串的大小，就可以做到O(n)的时间复杂度。

```

//版本一
void removeExtraSpaces(string& s) {
    int slowIndex = 0, fastIndex = 0; // 定义快指针，慢指针
    // 去掉字符串前面的空格
    while (s.size() > 0 && fastIndex < s.size() && s[fastIndex] == ' ') {
        fastIndex++;
    }
    for (; fastIndex < s.size(); fastIndex++) {
        // 去掉字符串中间部分的冗余空格
        if (fastIndex - 1 > 0
            && s[fastIndex - 1] == s[fastIndex]
            && s[fastIndex] == ' ') {
            continue;
        } else {
            s[slowIndex++] = s[fastIndex];
        }
    }
    if (slowIndex - 1 > 0 && s[slowIndex - 1] == ' ') { // 去掉字符串末尾的空格
        s.resize(slowIndex - 1);
    } else {
        s.resize(slowIndex); // 重新设置字符串大小
    }
}

```

有的同学可能发现用erase来移除空格，在leetcode上性能也还行。主要是以下几点：

1. leetcode上的测试集里，字符串的长度不够长，如果足够长，性能差距会非常明显。

2. leetcode的测程序耗时不是很准确的。

版本一的代码是一般的思考过程，就是 先移除字符串前的空格，再移除中间的，再移除后面部分。

不过其实还可以优化，这部分和[27.移除元素](#)的逻辑是一样一样的，本题是移除空格，而 27.移除元素 就是移除元素。

所以代码可以写的很精简，大家可以看 如下 代码 removeExtraSpaces 函数的实现：

```
// 版本二
void removeExtraSpaces(string& s) { //去除所有空格并在相邻单词之间添加空格，快慢指针。
    int slow = 0; //整体思想参考https://programmercarl.com/0027.移除元素.html
    for (int i = 0; i < s.size(); ++i) { //
        if (s[i] != ' ') { //遇到非空格就处理，即删除所有空格。
            if (slow != 0) s[slow++] = ' '; //手动控制空格，给单词之间添加空格。slow != 0说明不是第一个单词，需要在单词前添加空格。
            while (i < s.size() && s[i] != ' ') { //补上该单词，遇到空格说明单词结束。
                s[slow++] = s[i++];
            }
        }
    }
    s.resize(slow); //slow的大小即为去除多余空格后的大小。
}
```

如果以上代码看不懂，建议先把 [27.移除元素](#) 这道题目做了，或者看视频讲解：[数组中移除元素并不容易！LeetCode: 27. 移除元素](#)。

此时我们已经实现了removeExtraSpaces函数来移除冗余空格。

还要实现反转字符串的功能，支持反转字符串子区间，这个实现我们分别在[344.反转字符串](#)和[541.反转字符串II](#)里已经讲过了。

代码如下：

```
// 反转字符串s中左闭右闭的区间[start, end]
void reverse(string& s, int start, int end) {
    for (int i = start, j = end; i < j; i++, j--) {
        swap(s[i], s[j]);
    }
}
```

整体代码如下：

```
class Solution {
public:
    void reverse(string& s, int start, int end){ //翻转，区间写法：左闭右闭 []
        for (int i = start, j = end; i < j; i++, j--) {
            swap(s[i], s[j]);
        }
    }
}
```

```

void removeExtraSpaces(string& s) { //去除所有空格并在相邻单词之间添加空格，快慢指针。
    int slow = 0; //整体思想参考https://programmercarl.com/0027.移除元素.html
    for (int i = 0; i < s.size(); ++i) { //
        if (s[i] != ' ') { //遇到非空格就处理，即删除所有空格。
            if (slow != 0) s[slow++] = ' '; //手动控制空格，给单词之间添加空格。slow != 0
            说明不是第一个单词，需要在单词前添加空格。
            while (i < s.size() && s[i] != ' ') { //补上该单词，遇到空格说明单词结束。
                s[slow++] = s[i++];
            }
        }
    }
    s.resize(slow); //slow的大小即为去除多余空格后的大小。
}

string reverseWords(string s) {
    removeExtraSpaces(s); //去除多余空格，保证单词之间之只有一个空格，且字符串首尾没空格。
    reverse(s, 0, s.size() - 1);
    int start = 0; //removeExtraSpaces后保证第一个单词的开始下标一定是0。
    for (int i = 0; i <= s.size(); ++i) {
        if (i == s.size() || s[i] == ' ') { //到达空格或者串尾，说明一个单词结束。进行翻
        转。
            reverse(s, start, i - 1); //翻转，注意是左闭右闭 [ ]的翻转。
            start = i + 1; //更新下一个单词的开始下标start
        }
    }
    return s;
}
};

```

- 时间复杂度: $O(n)$
- 空间复杂度: $O(1)$ 或 $O(n)$ ，取决于语言中字符串是否可变

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，主要是因为没理解真正的反转过程。

5.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

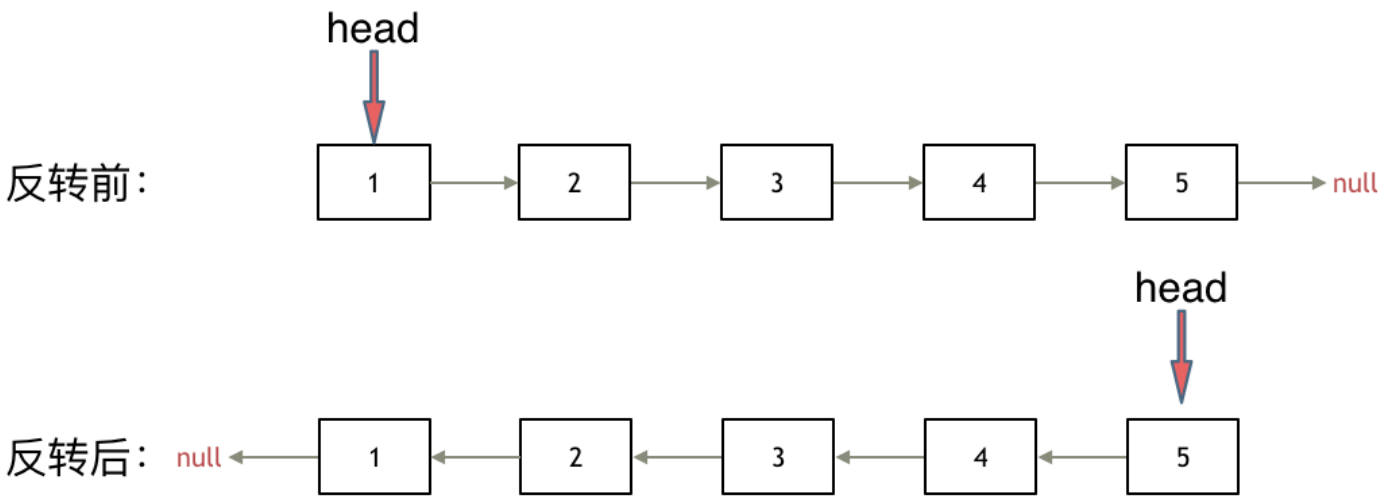
算法公开课

《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) {

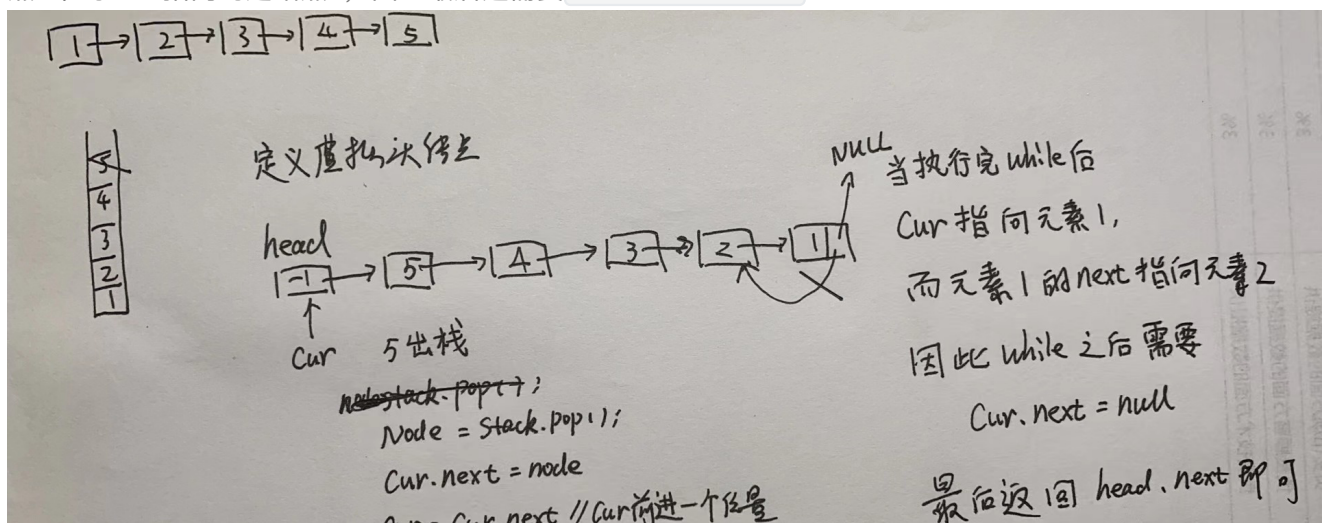
```

```

// 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`



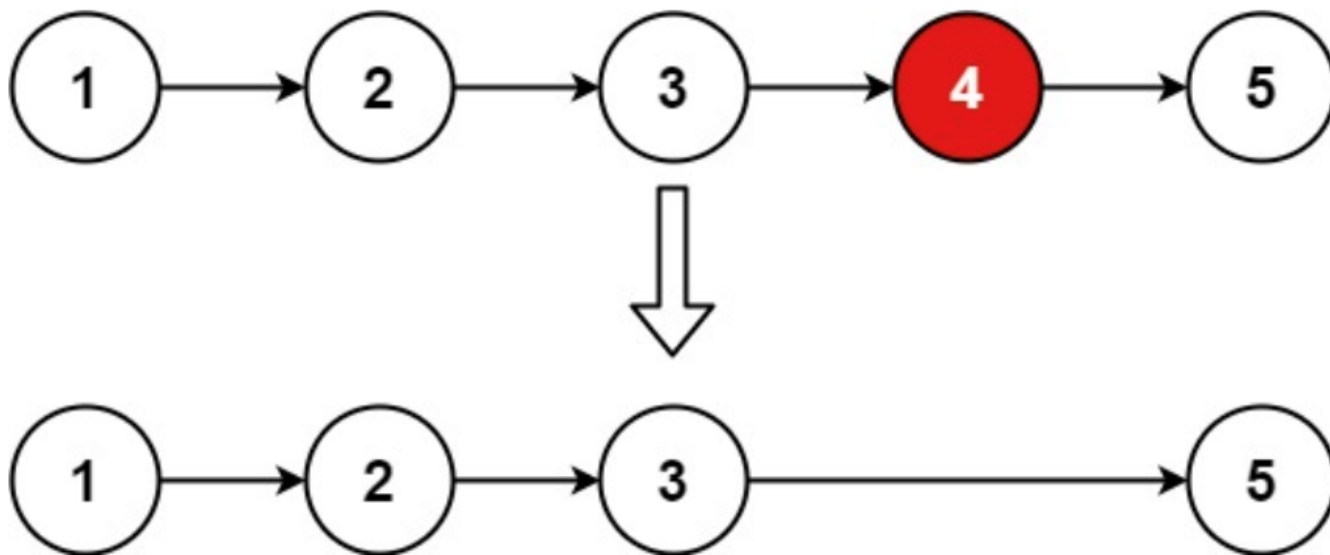
6.删除链表的倒数第N个节点

[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？

示例 1：



输入：head = [1,2,3,4,5], n = 2

输出：[1,2,3,5]

示例 2:

输入：head = [1], n = 1

输出：[]

示例 3:

输入：head = [1,2], n = 1

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

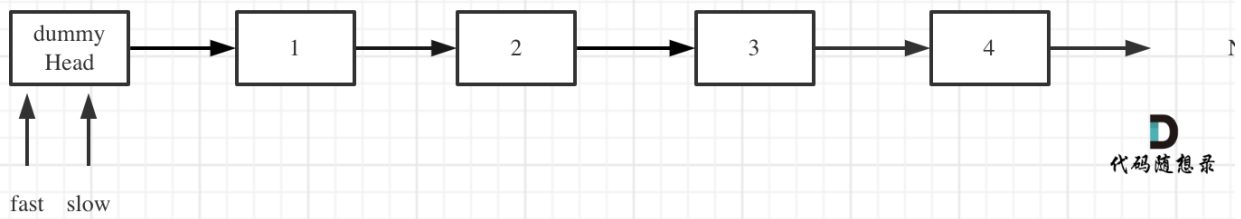
双指针的经典应用，如果要删除倒数第n个节点，让fast移动n步，然后让fast和slow同时移动，直到fast指向链表末尾。删掉slow所指向的节点就可以了。

思路是这样的，但要注意一些细节。

分为如下几步：

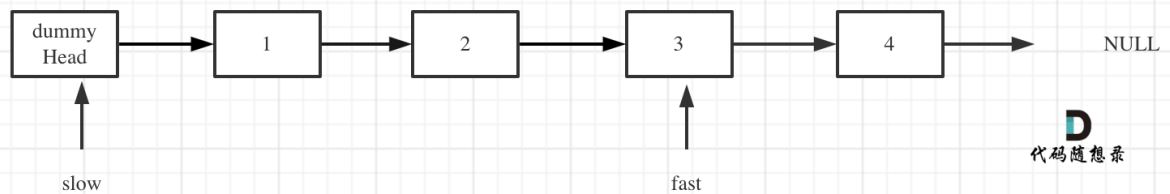
- 首先这里我推荐大家使用虚拟头结点，这样方便处理删除实际头结点的逻辑，如果虚拟头结点不清楚，可以看这篇：[链表：听说用虚拟头节点会方便很多？](#)
- 定义fast指针和slow指针，初始值为虚拟头结点，如图：

删除倒数第n的节点，举例n为2



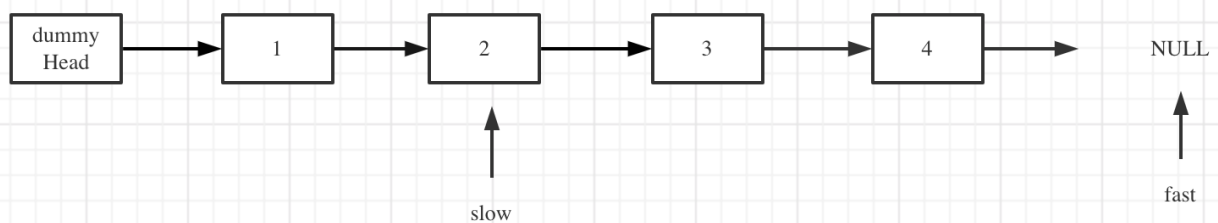
- fast首先走n + 1步，为什么是n+1呢，因为只有这样同时移动的时候slow才能指向删除节点的上一个节点（方便做删除操作），如图：

fast移动n+1，也就是移动3个单位



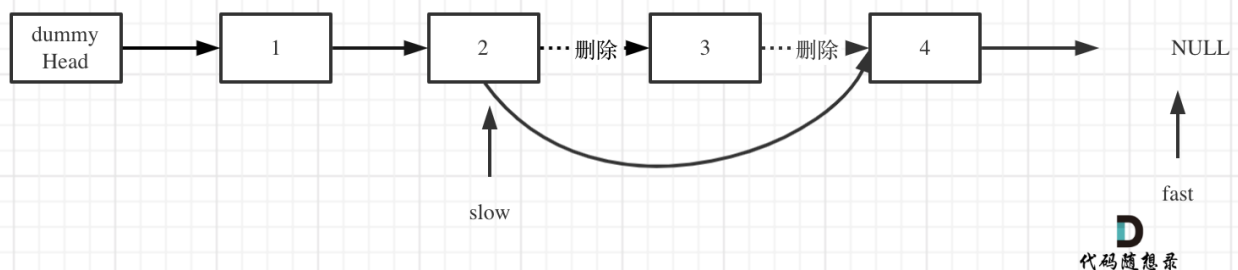
- fast和slow同时移动，直到fast指向末尾，如题：

slow和fast同时一定，只到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: $O(1)$

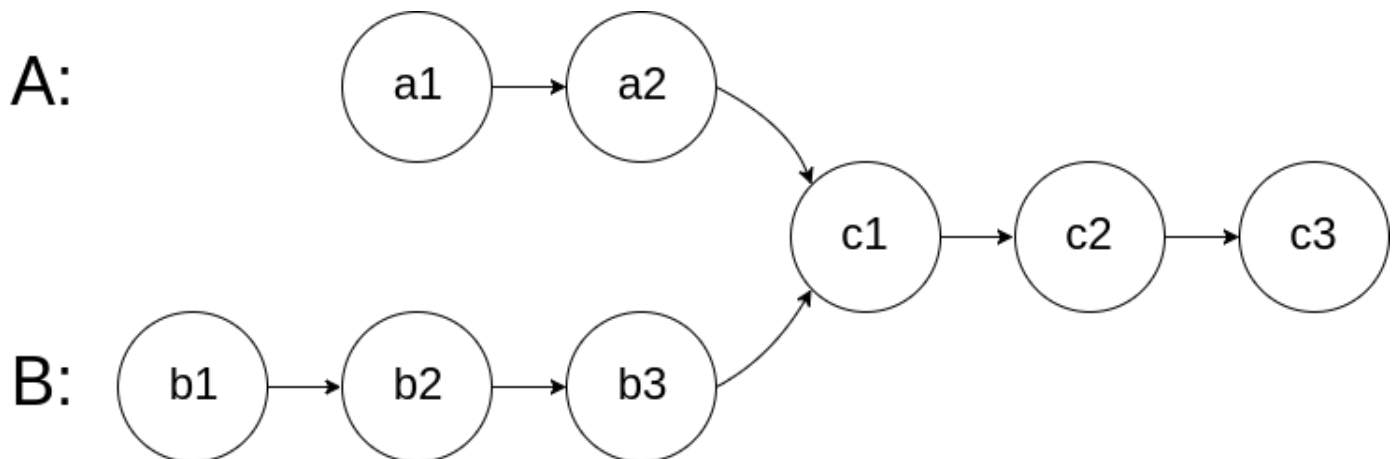
7. 面试题 02.07. 链表相交

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。

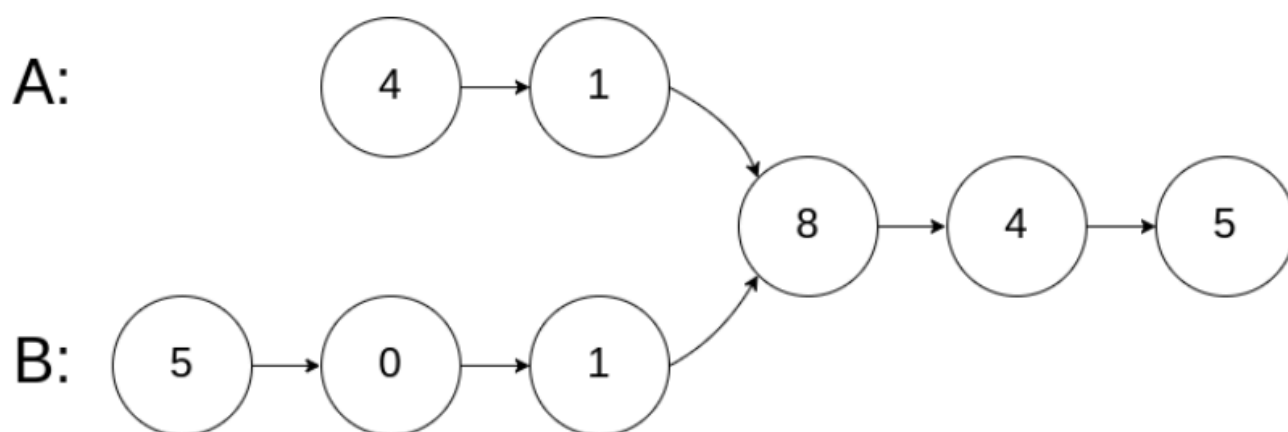
图示两个链表在节点 c1 开始相交：



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

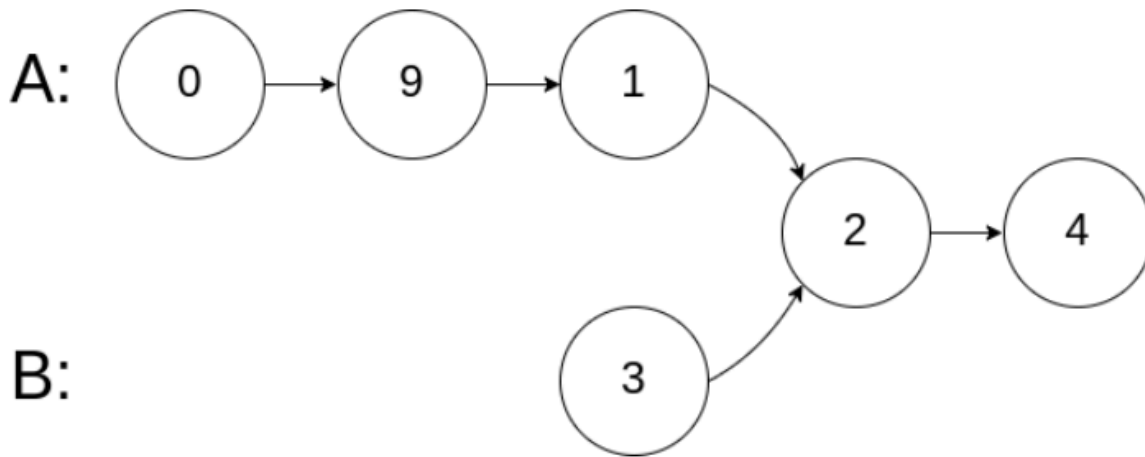
输出: Intersected at '8'

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`

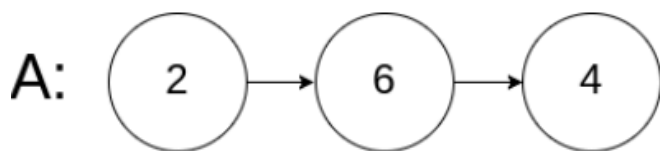
输出: `Intersected at '2'`

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:



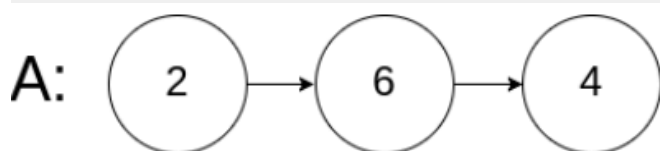
输入: `intersectVal = 0`, `listA = [2,6,4]`, `listB = [1,5]`,
`skipA = 3`, `skipB = 2`

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。

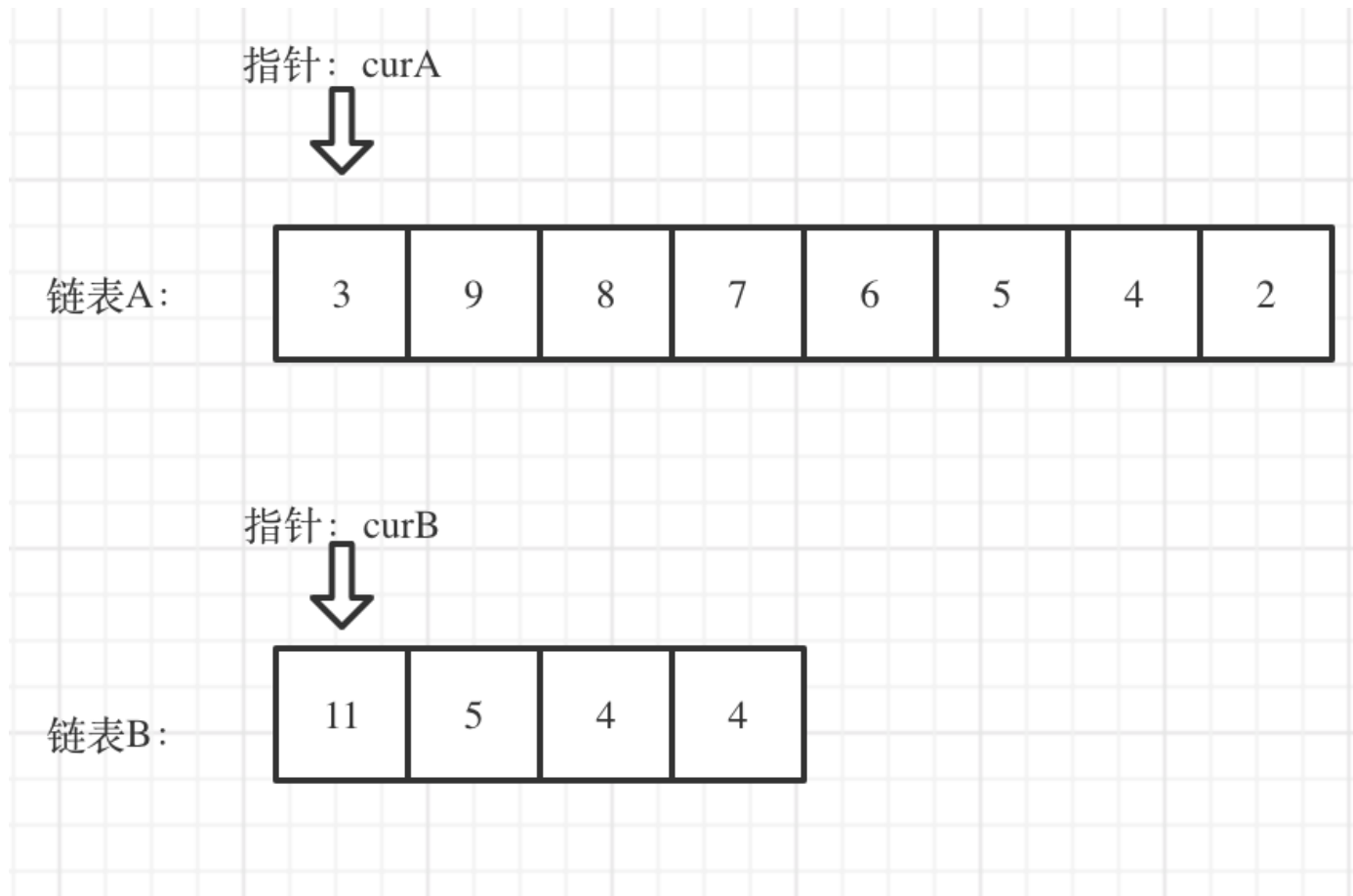
这两个链表不相交，因此返回 `null` 。

思路

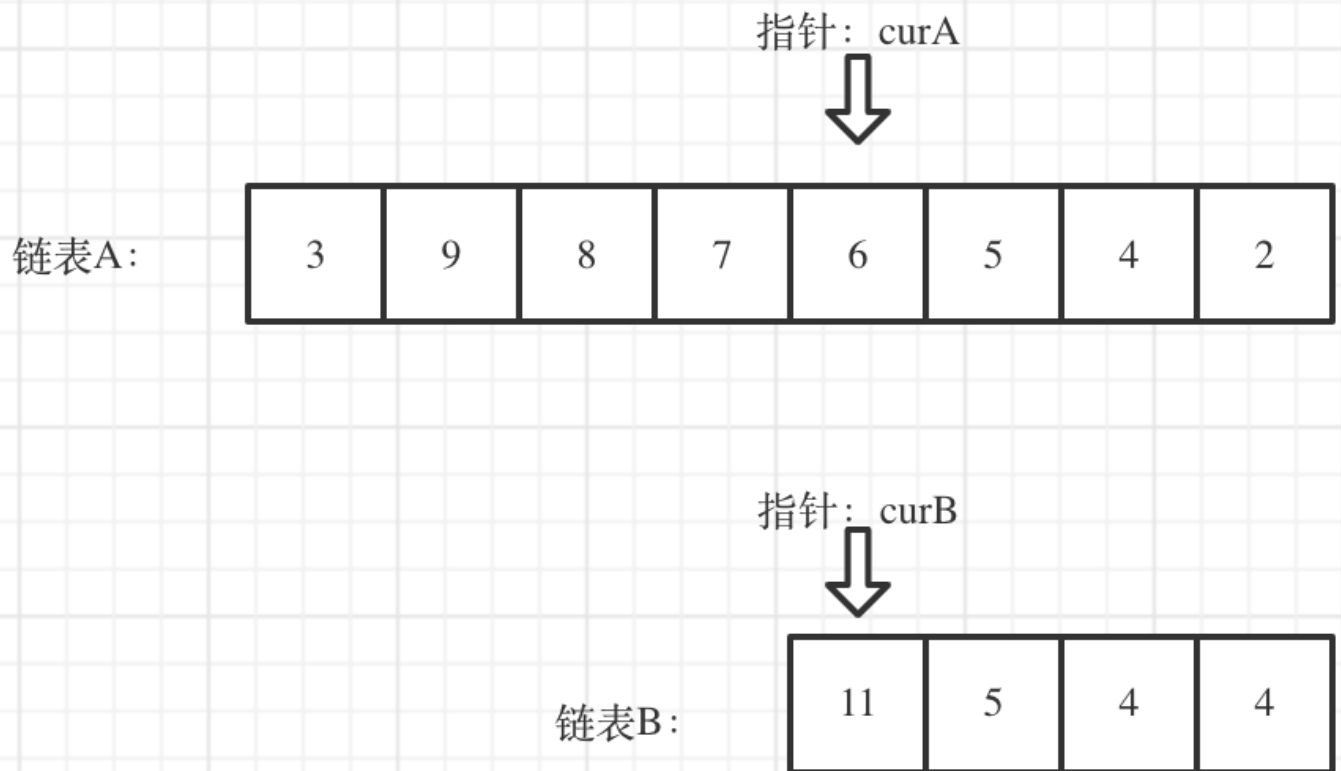
简单来说，就是求两个链表交点节点的**指针**。这里同学们要注意，交点不是数值相等，而是指针相等。

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。

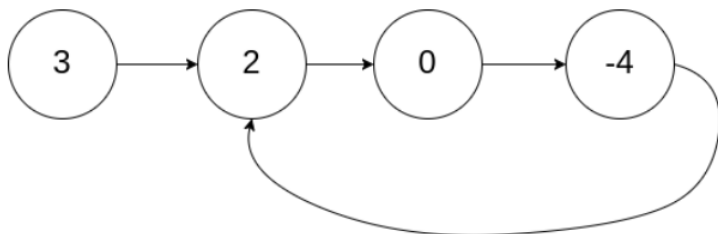
说明：不允许修改给定的链表。

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。

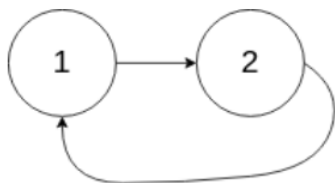


示例 2:

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。

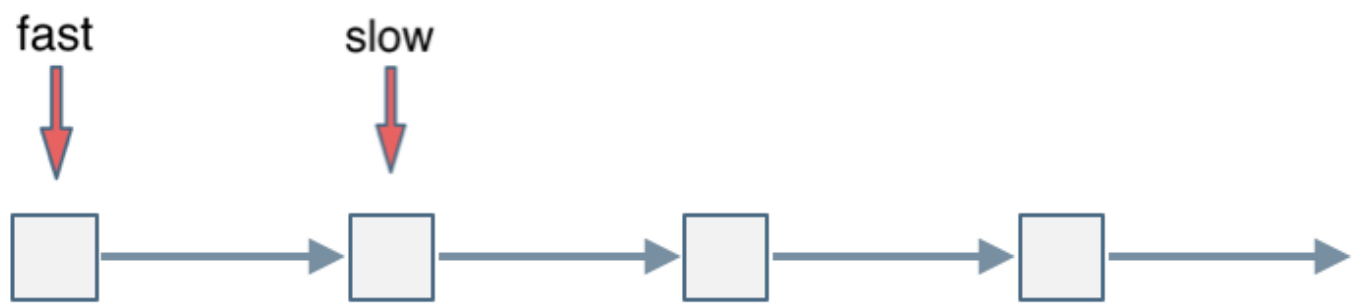
为什么 fast 走两个节点, slow 走一个节点, 有环的话, 一定会在环内相遇呢, 而不是永远的错开呢

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。

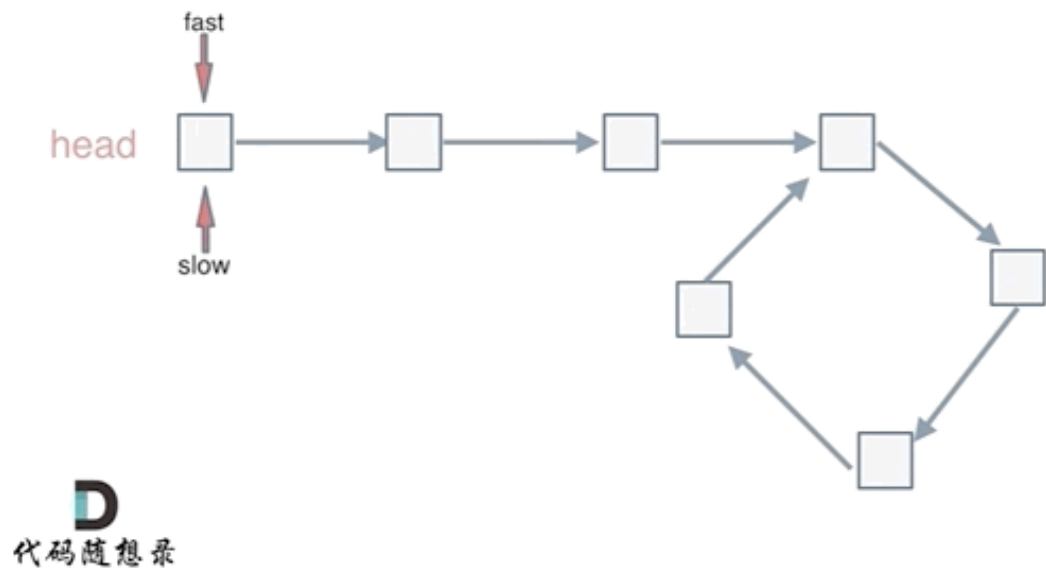
会发现最终都是这种情况， 如下图：



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：



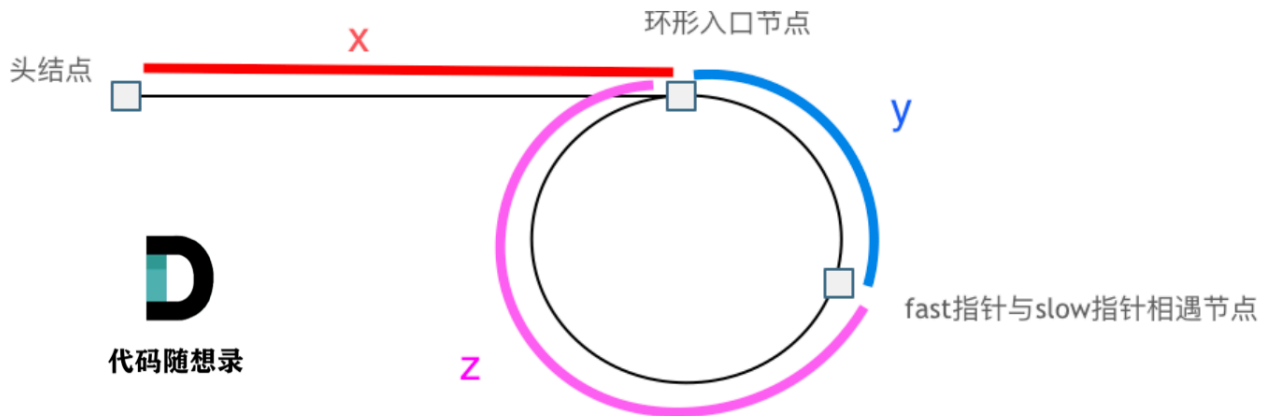
如果有环，如何找到这个环的入口

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：

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

$$\text{两边消掉一个 } (x+y) : x + y = n(y + z)$$

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。

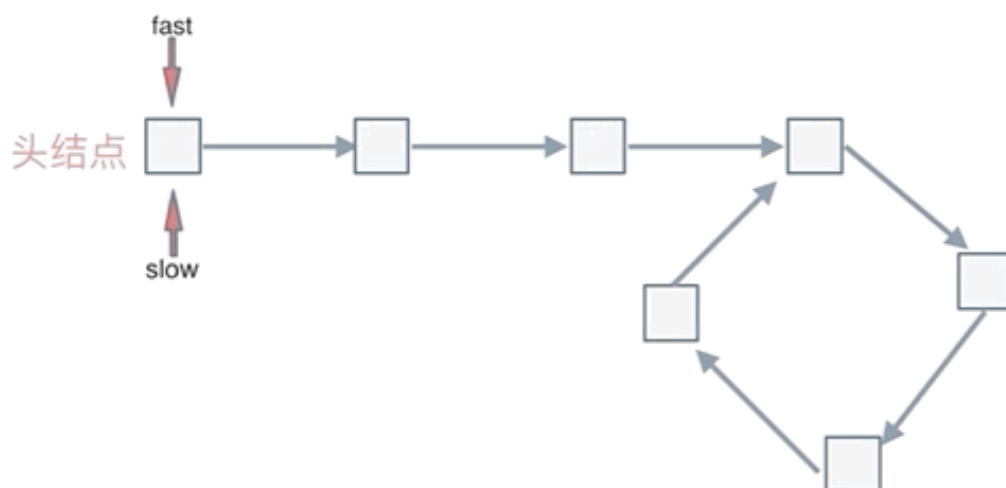
当 n 为1的时候，公式就化解为 $x = z$ ，

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;
};

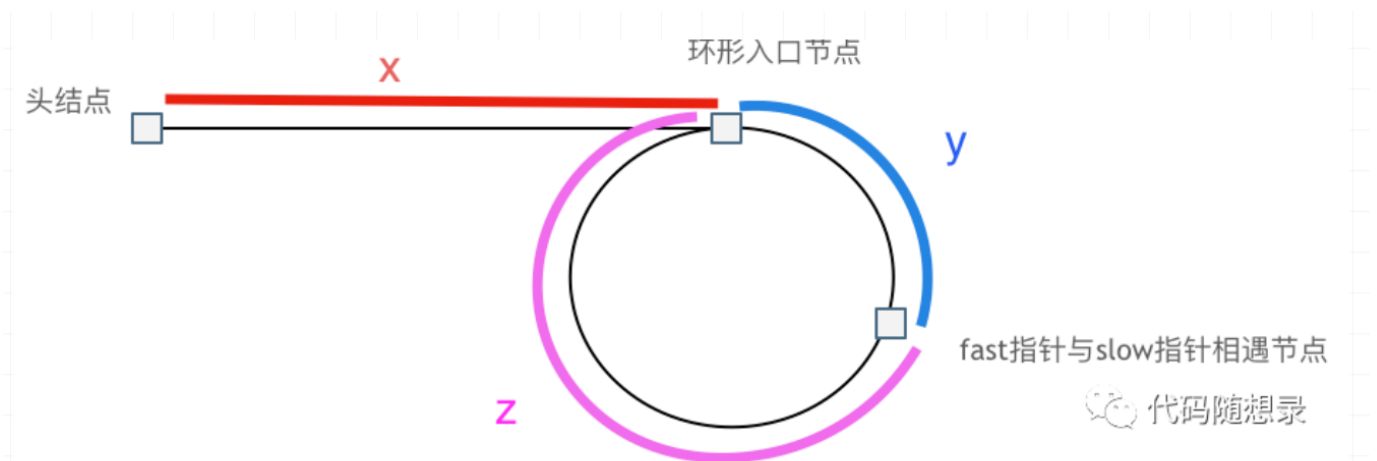
```

- 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:

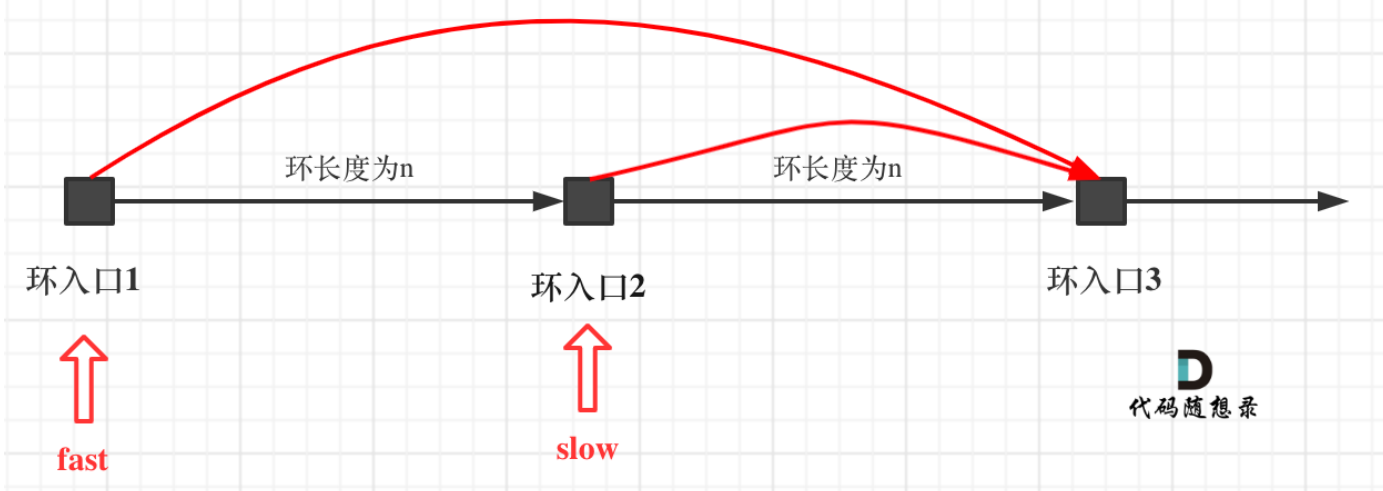


那么相遇时: slow指针走过的节点数为: $x + y$, fast指针走过的节点数: $x + y + n(y + z)$, n 为 fast 指针在环内走了 n 圈才遇到 slow 指针, $(y+z)$ 为一圈内节点的个数 A 。

首先slow进环的时候, fast一定是先进环来了。

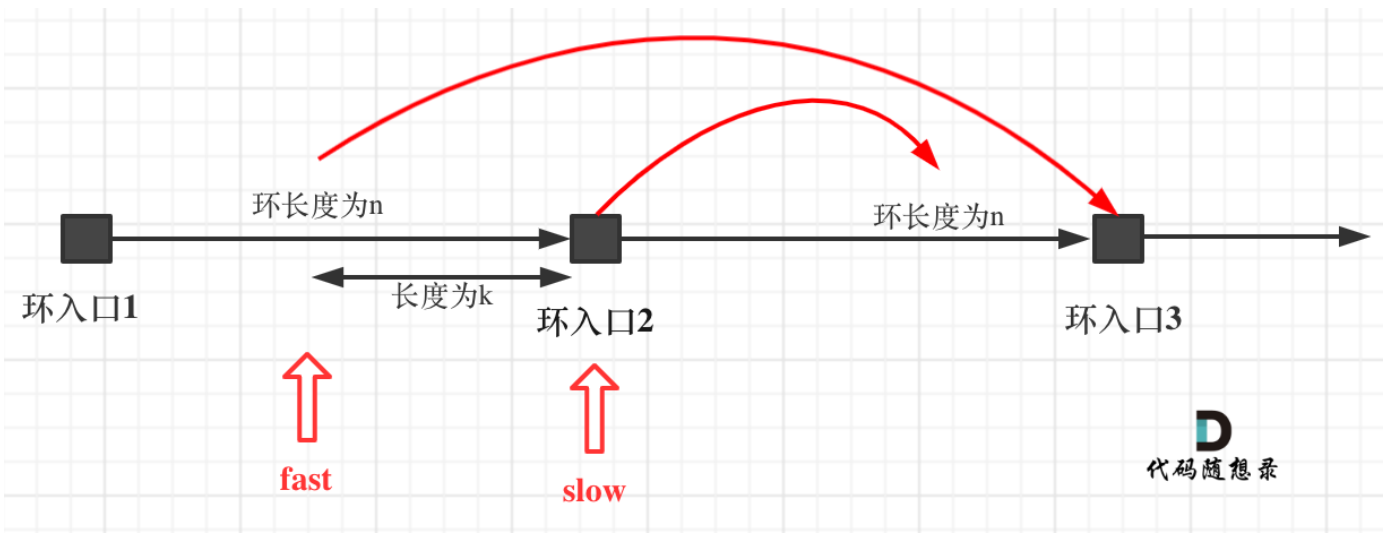
如果slow进环入口, fast也在环入口, 那么把这个环展开成直线, 就是如下图的样子:

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。

用哈希表解决了[两数之和](#)，那么三数之和呢？

9. 三数之和

[力扣题目链接](#)

给你一个包含 n 个整数的数组 `nums`，判断 `nums` 中是否存在三个元素 a, b, c ，使得 $a + b + c = 0$ ？请你找出所有满足条件且不重复的三元组。

注意： 答案中不可以包含重复的三元组。

示例：

给定数组 `nums = [-1, 0, 1, 2, -1, -4]`,

满足要求的三元组集合为：

```
[
  [-1, 0, 1],
  [-1, -1, 2]
]
```

算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课：[梦破碎的地方！| LeetCode: 15.三数之和](#)，相信结合视频再看本篇题解，更有助于大家对本题的理解。

注意[0, 0, 0, 0] 这组数据

思路

哈希解法

两层for循环就可以确定 a 和 b 的数值了，可以使用哈希法来确定 $0-(a+b)$ 是否在数组里出现过，其实这个思路是正确的，但是我们有一个非常棘手的问题，就是题目中说的不可以包含重复的三元组。

把符合条件的三元组放进vector中，然后再去重，这样是非常费时的，很容易超时，也是这道题目通过率如此之低的根源所在。

去重的过程不好处理，有很多小细节，如果在面试中很难想到位。

时间复杂度可以做到 $O(n^2)$ ，但还是比较费时的，因为不好做剪枝操作。

大家可以尝试使用哈希法写一写，就知道其困难的程度了。

哈希法C++代码:

```
class Solution {
public:
    vector<vector<int>> threeSum(vector<int>& nums) {
        vector<vector<int>> result;
```

```

    sort(nums.begin(), nums.end());
    // 找出a + b + c = 0
    // a = nums[i], b = nums[j], c = -(a + b)
    for (int i = 0; i < nums.size(); i++) {
        // 排序之后如果第一个元素已经大于零，那么不可能凑成三元组
        if (nums[i] > 0) {
            break;
        }
        if (i > 0 && nums[i] == nums[i - 1]) { //三元组元素a去重
            continue;
        }
        unordered_set<int> set;
        for (int j = i + 1; j < nums.size(); j++) {
            if (j > i + 2
                && nums[j] == nums[j-1]
                && nums[j-1] == nums[j-2]) { // 三元组元素b去重
                continue;
            }
            int c = 0 - (nums[i] + nums[j]);
            if (set.find(c) != set.end()) {
                result.push_back({nums[i], nums[j], c});
                set.erase(c); // 三元组元素c去重
            } else {
                set.insert(nums[j]);
            }
        }
    }
    return result;
}
};

```

- 时间复杂度: $O(n^2)$
- 空间复杂度: $O(n)$, 额外的 set 开销

双指针

其实这道题目使用哈希法并不十分合适，因为在去重的操作中有很多细节需要注意，在面试中很难直接写出没有bug的代码。

而且使用哈希法 在使用两层for循环的时候，能做的剪枝操作很有限，虽然时间复杂度是 $O(n^2)$ ，也是可以在leetcode上通过，但是程序的执行时间依然比较长。

接下来我来介绍另一个解法：双指针法，这道题目使用双指针法 要比哈希法高效一些，那么来讲解一下具体实现的思路。

动画效果如下：

-4	-1	-1	-1	-1	2
----	----	----	----	----	---

拿这个nums数组来举例，首先将数组排序，然后有一层for循环，i从下标0的地方开始，同时定一个下标left 定义在i+1的位置上，定义下标right 在数组结尾的位置上。

依然还是在数组中找到 abc 使得 $a + b + c = 0$ ，我们这里相当于 $a = \text{nums}[i]$, $b = \text{nums}[\text{left}]$, $c = \text{nums}[\text{right}]$ 。

接下来如何移动left 和right呢，如果 $\text{nums}[i] + \text{nums}[\text{left}] + \text{nums}[\text{right}] > 0$ 就说明 此时三数之和大了，因为数组是排序后了，所以right下标就应该向左移动，这样才能让三数之和小一些。

如果 $\text{nums}[i] + \text{nums}[\text{left}] + \text{nums}[\text{right}] < 0$ 说明 此时 三数之和小了，left 就向右移动，才能让三数之和大一些，直到left与right相遇为止。

时间复杂度： $O(n^2)$ 。

C++代码代码如下：

```
class Solution {
public:
    vector<vector<int>> threeSum(vector<int>& nums) {
        vector<vector<int>> result;
        sort(nums.begin(), nums.end());
        // 找出  $a + b + c = 0$ 
        //  $a = \text{nums}[i]$ ,  $b = \text{nums}[\text{left}]$ ,  $c = \text{nums}[\text{right}]$ 
        for (int i = 0; i < nums.size(); i++) {
            // 排序之后如果第一个元素已经大于零，那么无论如何组合都不可能凑成三元组，直接返回结果就可
            // 以了
            if (nums[i] > 0) {
                return result;
            }
            // 错误去重a方法，将会漏掉-1,-1,2 这种情况
            /*
            if (nums[i] == nums[i + 1]) {
                continue;
            }
            */
            // 正确去重a方法
            if (i > 0 && nums[i] == nums[i - 1]) {
                continue;
            }
        }
    }
};
```

```

    }
    int left = i + 1;
    int right = nums.size() - 1;
    while (right > left) {
        // 去重复逻辑如果放在这里, 0, 0, 0 的情况, 可能直接导致 right<=left 了, 从而漏掉了
        // 0,0,0 这种三元组
        /*
        while (right > left && nums[right] == nums[right - 1]) right--;
        while (right > left && nums[left] == nums[left + 1]) left++;
        */
        if (nums[i] + nums[left] + nums[right] > 0) right--;
        else if (nums[i] + nums[left] + nums[right] < 0) left++;
        else {
            result.push_back(vector<int>{nums[i], nums[left], nums[right]});
            // 去重逻辑应该放在找到一个三元组之后, 对b 和 c去重
            while (right > left && nums[right] == nums[right - 1]) right--;
            while (right > left && nums[left] == nums[left + 1]) left++;

            // 找到答案时, 双指针同时收缩
            right--;
            left++;
        }
    }
}

return result;
}
};

```

- 时间复杂度: $O(n^2)$
- 空间复杂度: $O(1)$

去重逻辑的思考

a的去重

说道去重, 其实主要考虑三个数的去重。a, b, c, 对应的就是 `nums[i]`, `nums[left]`, `nums[right]`

a 如果重复了怎么办, a是nums里遍历的元素, 那么应该直接跳过去。

但这里有一个问题, 是判断 `nums[i]` 与 `nums[i + 1]` 是否相同, 还是判断 `nums[i]` 与 `nums[i-1]` 是否相同。

有同学可能想, 这不都一样吗。

其实不一样!

都是和 `nums[i]` 进行比较, 是比较它的前一个, 还是比较他的后一个。

如果我们的写法是 这样:

```
if (nums[i] == nums[i + 1]) { // 去重操作
    continue;
}
```

那就我们就把 三元组中出现重复元素的情况直接pass掉了。例如{-1, -1, 2} 这组数据，当遍历到第一个-1 的时候，判断 下一个也是-1，那这组数据就pass了。

我们要做的是 不能有重复的三元组，但三元组内的元素是可以重复的！

所以这里是有两个重复的维度。

那么应该这么写：

```
if (i > 0 && nums[i] == nums[i - 1]) {
    continue;
}
```

这么写就是当前使用 nums[i]，我们判断前一位是不是一样的元素，在看 {-1, -1, 2} 这组数据，当遍历到 第一个 -1 的时候，只要前一位没有-1，那么 {-1, -1, 2} 这组数据一样可以收录到 结果集里。

这是一个非常细节的思考过程。

b与c的去重

很多同学写本题的时候，去重的逻辑多加了 对right 和left 的去重：（代码中注释部分）

```
while (right > left) {
    if (nums[i] + nums[left] + nums[right] > 0) {
        right--;
        // 去重 right
        while (left < right && nums[right] == nums[right + 1]) right--;
    } else if (nums[i] + nums[left] + nums[right] < 0) {
        left++;
        // 去重 left
        while (left < right && nums[left] == nums[left - 1]) left++;
    } else {
    }
}
```

但细想一下，这种去重其实对提升程序运行效率是没有帮助的。

拿right去重为例，即使不加这个去重逻辑，依然根据 `while (right > left)` 和 `if (nums[i] + nums[left] + nums[right] > 0)` 去完成right-- 的操作。

多加了 `while (left < right && nums[right] == nums[right + 1]) right--;` 这一行代码，其实就是把需要执行的逻辑提前执行了，但并没有减少 判断的逻辑。

最直白的思考过程，就是right还是一个数一个数的减下去的，所以在哪里减的都是一样的。

所以这种去重 是可以不加的。仅仅是 把去重的逻辑提前了而已。

思考题

既然三数之和可以使用双指针法，我们之前讲过的[1.两数之和](#)，可不可以使用双指针法呢？

如果不能，题意如何更改就可以使用双指针法呢？ **大家留言说出自己的想法吧！**

两数之和 就不能使用双指针法，因为[1.两数之和](#)要求返回的是索引下标，而双指针法一定要排序，一旦排序之后原数组的索引就被改变了。

如果[1.两数之和](#)要求返回的是数值的话，就可以使用双指针法了。

一样的道理，能解决四数之和
那么五数之和、六数之和、N数之和呢？

10. 四数之和

[力扣题目链接](#)

题意：给定一个包含 n 个整数的数组 `nums` 和一个目标值 `target`，判断 `nums` 中是否存在四个元素 `a`，`b`，`c` 和 `d`，使得 $a + b + c + d$ 的值与 `target` 相等？找出所有满足条件且不重复的四元组。

注意：

答案中不可以包含重复的四元组。

示例：

给定数组 `nums = [1, 0, -1, 0, -2, 2]`，和 `target = 0`。

满足要求的四元组集合为：

```
[
  [-1, 0, 0, 1],
  [-2, -1, 1, 2],
  [-2, 0, 0, 2]
]
```

算法公开课

《代码随想录》算法视频公开课：[难在去重和剪枝！ | LeetCode: 18. 四数之和](#)，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

四数之和，和[15.三数之和](#)是一个思路，都是使用双指针法，基本解法就是在[15.三数之和](#)的基础上再套一层for循环。

但是有一些细节需要注意，例如：不要判断 `nums[k] > target` 就返回了，三数之和 可以通过 `nums[i] > 0` 就返回了，因为 0 已经是确定的数了，四数之和这道题目 `target` 是任意值。比如：数组是 `[-4, -3, -2, -1]`，`target` 是 `-10`，不能因为 `-4 > -10` 而跳过。但是我们依旧可以去做剪枝，逻辑变成 `nums[i] > target && (nums[i] >= 0 || target >= 0)` 就可以了。

[15.三数之和](#)的双指针解法是一层for循环num[i]为确定值，然后循环内有left和right下标作为双指针，找到nums[i] + nums[left] + nums[right] == 0。

四数之和的双指针解法是两层for循环nums[k] + nums[i]为确定值，依然是循环内有left和right下标作为双指针，找出nums[k] + nums[i] + nums[left] + nums[right] == target的情况，三数之和的时间复杂度是 $O(n^2)$ ，四数之和的时间复杂度是 $O(n^3)$ 。

那么一样的道理，五数之和、六数之和等等都采用这种解法。

对于[15.三数之和](#)双指针法就是将原本暴力 $O(n^3)$ 的解法，降为 $O(n^2)$ 的解法，四数之和的双指针解法就是将原本暴力 $O(n^4)$ 的解法，降为 $O(n^3)$ 的解法。

之前我们讲过哈希表的经典题目：[454.四数相加II](#)，相对于本题简单很多，因为本题是要求在一个集合中找出四个数相加等于target，同时四元组不能重复。

而[454.四数相加II](#)是四个独立的数组，只要找到 $A[i] + B[j] + C[k] + D[l] = 0$ 就可以，不用考虑有重复的四个元素相加等于0的情况，所以相对于本题还是简单了不少！

我们来回顾一下，几道题目使用了双指针法。

双指针法将时间复杂度： $O(n^2)$ 的解法优化为 $O(n)$ 的解法。也就是降一个数量级，题目如下：

- [27.移除元素](#)
- [15.三数之和](#)
- [18.四数之和](#)

链表相关双指针题目：

- [206.反转链表](#)
- [19.删除链表的倒数第N个节点](#)
- [面试题 02.07. 链表相交](#)
- [142题.环形链表II](#)

双指针法在字符串题目中还有很多应用，后面还会介绍到。

C++代码

```
class Solution {
public:
    vector<vector<int>> fourSum(vector<int>& nums, int target) {
        vector<vector<int>> result;
        sort(nums.begin(), nums.end());
        for (int k = 0; k < nums.size(); k++) {
            // 剪枝处理
            if (nums[k] > target && nums[k] >= 0) {
                break; // 这里使用break，统一通过最后的return返回
            }
            // 对nums[k]去重
            if (k > 0 && nums[k] == nums[k - 1]) {
                continue;
            }
        }
    }
}
```

```

        for (int i = k + 1; i < nums.size(); i++) {
            // 2级剪枝处理
            if (nums[k] + nums[i] > target && nums[k] + nums[i] >= 0) {
                break;
            }

            // 对nums[i]去重
            if (i > k + 1 && nums[i] == nums[i - 1]) {
                continue;
            }
            int left = i + 1;
            int right = nums.size() - 1;
            while (right > left) {
                // nums[k] + nums[i] + nums[left] + nums[right] > target 会溢出
                if ((long) nums[k] + nums[i] + nums[left] + nums[right] > target) {
                    right--;
                }
                // nums[k] + nums[i] + nums[left] + nums[right] < target 会溢出
                else if ((long) nums[k] + nums[i] + nums[left] + nums[right] <
target) {
                    left++;
                }
                else {
                    result.push_back(vector<int>{nums[k], nums[i], nums[left],
nums[right]});

                    // 对nums[left]和nums[right]去重
                    while (right > left && nums[right] == nums[right - 1]) right--;
                    while (right > left && nums[left] == nums[left + 1]) left++;

                    // 找到答案时，双指针同时收缩
                    right--;
                    left++;
                }
            }
        }
    }
    return result;
}
};

```

- 时间复杂度: $O(n^3)$
- 空间复杂度: $O(1)$

补充

二级剪枝的部分：

```
if (nums[k] + nums[i] > target && nums[k] + nums[i] >= 0) {
    break;
}
```

可以优化为：

```
if (nums[k] + nums[i] > target && nums[i] >= 0) {
    break;
}
```

因为只要 $\text{nums}[k] + \text{nums}[i] > \text{target}$ ，那么 $\text{nums}[i]$ 后面的数都是正数的话，就一定 不符合条件了。

不过这种剪枝 其实有点 小绕，大家能够理解 文章给的完整代码的剪枝 就够了。

又是一波总结

相信大家已经对双指针法很熟悉了，但是双指针法并不隶属于某一种数据结构，我们在讲解数组，链表，字符串都用到了双指针法，所有有必要针对双指针法做一个总结。

11. 双指针总结篇

数组篇

在[数组：就移除个元素很难么？](#)中，原地移除数组上的元素，我们说到了数组上的元素，不能真正的删除，只能覆盖。

一些同学可能会写出如下代码（伪代码）：

```
for (int i = 0; i < array.size(); i++) {
    if (array[i] == target) {
        array.erase(i);
    }
}
```

这个代码看上去好像是 $O(n)$ 的时间复杂度，其实是 $O(n^2)$ 的时间复杂度，因为`erase`操作也是 $O(n)$ 的操作。

所以此时使用双指针法才展现出效率的优势：通过两个指针在一个for循环下完成两个for循环的工作。

字符串篇

在[字符串：这道题目，使用库函数一行代码搞定](#)中讲解了反转字符串，注意这里强调要原地反转，要不然就失去了题目的意义。

使用双指针法，定义两个指针（也可以说是索引下标），一个从字符串前面，一个从字符串后面，两个指针同时向中间移动，并交换元素。，时间复杂度是 $O(n)$ 。

在[替换空格](#)中介绍使用双指针填充字符串的方法，如果想把这题目做到极致，就不要只用额外的辅助空间了！

思路就是首先扩充数组到每个空格替换成"%20"之后的大小。然后双指针从后向前替换空格。

有同学问了，为什么要从后向前填充，从前向后填充不行么？

从前向后填充就是 $O(n^2)$ 的算法了，因为每次添加元素都要将添加元素之后的所有元素向后移动。

其实很多数组（字符串）填充类的问题，都可以先预先给数组扩容带填充后的大小，然后在从后向前进行操作。

那么在[字符串：花式反转还不够！](#)中，我们使用双指针法，用 $O(n)$ 的时间复杂度完成字符串删除类的操作，因为题目要删除冗余空格。

在删除冗余空格的过程中，如果不注意代码效率，很容易写成了 $O(n^2)$ 的时间复杂度。其实使用双指针法 $O(n)$ 就可以搞定。

主要还是大家用erase用的比较随意，一定要注意for循环下用erase的情况，一般可以用双指针写效率更高！

链表篇

翻转链表是现场面试，白纸写代码的好题，考察了候选者对链表以及指针的熟悉程度，而且代码也不长，适合在白纸上写。

在[链表：听说过两天反转链表又写不出来了？](#)中，讲如何使用双指针法来翻转链表，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。

思路还是很简单的，代码也不长，但是想在白纸上一次性写出bugfree的代码，并不是容易的事情。

在链表中求环，应该是双指针在链表里最经典的应用，在[链表：环找到了，那入口呢？](#)中讲解了如何通过双指针判断是否有环，而且还要找到环的入口。

使用快慢指针（双指针法），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。

那么找到环的入口，其实需要点简单的数学推理，我在文章中把找环的入口清清楚楚的推理了一遍，如果对找环入口不够清楚的同学建议自己看一看[链表：环找到了，那入口呢？](#)。

N数之和篇

在[哈希表：解决了两数之和，那么能解决三数之和么？](#)中，讲到使用哈希法可以解决1.两数之和的问题

其实使用双指针也可以解决1.两数之和的问题，只不过1.两数之和求的是两个元素的下标，没法用双指针，如果改成求具体两个元素的数值就可以了，大家可以尝试用双指针做一个leetcode上两数之和的题目，就可以体会到我说的意思了。

使用了哈希法解决了两数之和，但是哈希法并不适用于三数之和！

使用哈希法的过程中要把符合条件的三元组放进vector中，然后在去去重，这样是非常费时的，很容易超时，也是三数之和通过率如此之低的根源所在。

去重的过程不好处理，有很多小细节，如果在面试中很难想到位。

时间复杂度可以做到 $O(n^2)$ ，但还是比较费时的，因为不好做剪枝操作。

所以这道题目使用双指针法才是最为合适的，用双指针做这道题目才能就能真正体会到，通过前后两个指针不算向中间逼近，在一个for循环下完成两个for循环的工作。

只用双指针法时间复杂度为 $O(n^2)$ ，但比哈希法的 $O(n^2)$ 效率高得多，哈希法在使用两层for循环的时候，能做的剪枝操作很有限。

在[双指针法：一样的道理，能解决四数之和](#)中，讲到了四数之和，其实思路是一样的，在三数之和的基础上再套一层for循环，依然是使用双指针法。

对于三数之和使用双指针法就是将原本暴力 $O(n^3)$ 的解法，降为 $O(n^2)$ 的解法，四数之和的双指针解法就是将原本暴力 $O(n^4)$ 的解法，降为 $O(n^3)$ 的解法。

同样的道理，五数之和，n数之和都是在这个基础上累加。

总结

本文中一共介绍了leetcode上九道使用双指针解决问题的经典题目，除了链表一些题目一定要使用双指针，其他题目都是使用双指针来提高效率，一般是将 $O(n^2)$ 的时间复杂度，降为 $O(n)$ 。

建议大家可以把文中涉及到的题目在好好做一做，琢磨琢磨，基本对双指针法就不在话下了。