专题-数据结构

- 数据结构相关基本是**现场面试**中出现频率最高的问题。
  - 因为现场面试的时间限制，更难的问题需要大量的思考时间，所以一般只要求需要阐述思路（比如动态规划）；
  - 而**数据结构**相关的问题，因为有很强的先验知识，通常要求**手写代码**。
- 本专题只收录**基础数据结构相关问题**，不包括高级数据结构及数据结构的设计，比如线段树或者 LRU 缓存，这些问题可以参考数据结构 Advanced。

Index

二叉树

二叉树的深度

> 二叉树的深度 - 牛客

C++

```
class Solution {
public:
    int TreeDepth(TreeNode* root) {
        if (root == NULL) return 0;

        return max(TreeDepth(root->left), TreeDepth(root->right)) + 1;
    }
};
```

二叉树的宽度

思路

- 层序遍历（队列）

C++

```
class Solution {
public:
    int widthOfBinaryTree(TreeNode* root) {
        if (root == nullptr)
            return 0;

        queue<TreeNode*> Q;
        Q.push(root);

        int ans = 1;
        while(!Q.empty()) {
            int cur_w = Q.size();  // 当前层的宽度
            ans = max(ans, cur_w);

            for (int i=0; i<cur_w; i++) {
```

```
                auto p = Q.front();
                Q.pop();
                if (p->left)
                    Q.push(p->left);
                if (p->right)
                    Q.push(p->right);
            }
        }

        return ans;
    }
};
```

二叉树最大宽度（LeetCode）

> LeetCode - 662. 二叉树最大宽度

问题描述

```
给定一个二叉树，编写一个函数来获取这个树的最大宽度。
树的宽度是所有层中的最大宽度。
这个二叉树与满二叉树（full binary tree）结构相同，但一些节点为空。

每一层的宽度被定义为两个端点（该层最左和最右的非空节点，两端点间的null节点也计入长度）之间的长度。

示例 1:
    输入:

           1
         /   \
        3     2
       / \     \
      5   3     9

    输出: 4
    解释: 最大值出现在树的第 3 层，宽度为 4 (5,3,null,9)。

示例 2:
    输入:

          1
         /
        3
       / \
      5   3

    输出: 2
    解释: 最大值出现在树的第 3 层，宽度为 2 (5,3)。
```

思路

- 本题在二叉树宽度的基础上加入了满二叉树的性质，即每层都有 2 ^ (n-1)个节点。某节点的左孩子的标号是2n, 右节点的标号是2n + 1。

- 注：如果在循环中会增删容器中的元素，则不应该在 `for` 循环中使用 `size()` 方法，该方法的返回值会根据容器的内容动态改变。

C++

```
class Solution {
public:
    int widthOfBinaryTree(TreeNode* root) {
        if (root == nullptr)
            return 0;

        deque<pair<TreeNode*, int>> Q;  // 记录节点及其在满二叉树中的位置
        Q.push_back({ root, 1 });

        int ans = 0;
        while (!Q.empty()) {
            int cur_n = Q.size();
            int cur_w = Q.back().second - Q.front().second + 1;  // 当前层的宽度
            ans = max(ans, cur_w);

            //for (int i = 0; i<Q.size(); i++) {  // err: Q.size() 会动态改变
            for (int i = 0; i<cur_n; i++) {
                auto p = Q.front();
                Q.pop_front();
                if (p.first->left != nullptr)
                    Q.push_back({ p.first->left, p.second * 2 });
                if (p.first->right != nullptr)
                    Q.push_back({ p.first->right, p.second * 2 + 1 });
            }
        }

        return ans;
    }
};
```

二叉树中的最长路径

思路

- 基于二叉树的深度
- 对任一子树而言，则经过该节点的一条最长路径为其`左子树的深度 + 右子树的深度 + 1`
- 遍历树中每个节点的最长路径，其中最大的即为整个树的最长路径

> 为什么最长路径不一定是经过根节点的那条路径？

判断平衡二叉树 TODO

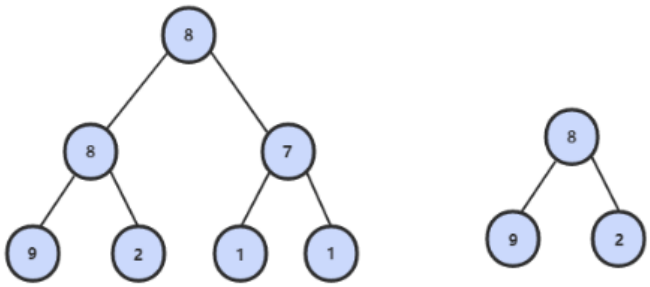
判断树 B 是否为树 A 的子结构

> 树的子结构 - 牛客

题目描述

> 输入两棵二叉树A，B，判断B是不是A的子结构。
> 约定空树不是任意一个树的子结构。

- 图示



思路

- 递归
- 有两个递归的点：一、递归寻找树 A 中与树 B 根节点相同的子节点；二、递归判断子结构是否相同

Code（递归）

```
class Solution {
public:
    bool HasSubtree(TreeNode* p1, TreeNode* p2) {
        if (p1 == nullptr || p2 == nullptr)  // 约定空树不是任意一个树的子结构
            return false;

        return isSubTree(p1, p2)    // 判断子结构是否相同
            || HasSubtree(p1->left, p2)      // 递归寻找树 A 中与树 B 根节点相同的子节点
            || HasSubtree(p1->right, p2);
    }

    bool isSubTree(TreeNode* p1, TreeNode* p2) {
        if (p2 == nullptr) return true;        // 注意这两个判断的顺序
        if (p1 == nullptr) return false;

        if (p1->val == p2->val)
            return isSubTree(p1->left, p2->left)    // 递归判断左右子树
                && isSubTree(p1->right, p2->right);
        else
            return false;
    }
};
```

利用前序和中序重建二叉树

> 重建二叉树 - 牛客

题目描述

根据二叉树的前序遍历和中序遍历的结果，重建出该二叉树。
假设输入的前序遍历和中序遍历的结果中都不含重复的数字。

思路

- 前序遍历的第一个值为根节点的值，使用这个值将中序遍历结果分成两部分，左部分为左子树的中序遍历结果，右部分为右子树的中序遍历的结果。
- 根据左右子树的长度，可以从前序遍历的结果中划分出左右子树的前序遍历结果
- 接下来就是递归过程
- **注意**：必须序列中的值不重复才可以这么做
- 示例

```
前序
    1,2,4,7,3,5,6,8
中序
    4,7,2,1,5,3,8,6

第一层
    根节点 1
    根据根节点的值（不重复），划分中序：
    {4,7,2} 和 {5,3,8,6}
    根据左右子树的长度，划分前序：
    {2,4,7} 和 {3,5,6,8}
    从而得到左右子树的前序和中序
    左子树的前序和中序：{2,4,7}、{4,7,2}
    右子树的前序和中序：{3,5,6,8}、{5,3,8,6}

第二层
    左子树的根节点 2
    右子树的根节点 3
    ...
```

Code（Python）

> C++ 版本 > 题解-剑指Offer/重建二叉树

```python
# class TreeNode:
#     def __init__(self, x):
#         self.val = x
#         self.left = None
#         self.right = None
class Solution:
    # 返回构造的TreeNode根节点
    def reConstructBinaryTree(self, pre, tin):
        if len(pre) < 1:
            return None

        root = TreeNode(pre[0])
        index = tin.index(root.val)  # 注意值不重复，才可以这么做
```

```
        root.left = self.reConstructBinaryTree(pre[1: 1+index], tin[:index])
        root.right = self.reConstructBinaryTree(pre[1+index:], tin[index+1:])

        return root
```

二叉树的序列化与反序列化

> 序列化二叉树 - NowCoder

题目描述

```
请实现两个函数，分别用来序列化和反序列化二叉树。
接口如下：

    char* Serialize(TreeNode *root);
    TreeNode* Deserialize(char *str);

空节点用 '#' 表示，节点之间用空格分开
```

- 比如中序遍历就是一个二叉树序列化
- 反序列化要求能够通过序列化的结果还原二叉树

思路

- 前序遍历

Code

```
class Solution {
    stringstream ss_fw;
    stringstream ss_bw;
public:
    char* Serialize(TreeNode *root) {

        dfs_fw(root);

        char ret[1024];
        return strcpy(ret, ss_fw.str().c_str());
        // return (char*)ss.str().c_str();  // 会出问题，原因未知
    }

    void dfs_fw(TreeNode *node) {
        if (node == nullptr) {
            ss_fw << "#";
            return;
        }
        ss_fw << node->val;

        ss_fw << " ";
        dfs_fw(node->left);

        ss_fw << " ";
        dfs_fw(node->right);
```

```
    }

    TreeNode* Deserialize(char *str) {
        if (strlen(str) < 1) return nullptr;

        ss_bw << str;
        return dfs_bw();
    }

    TreeNode* dfs_bw() {
        if (ss_bw.eof())
            return nullptr;

        string val;             // 因为 "#"，用 int 或 char 接收都会有问题
        ss_bw >> val;

        if (val == "#")
            return nullptr;

        TreeNode* node = new TreeNode{ stoi(val) };
        node->left = dfs_bw();
        node->right = dfs_bw();
        return node;
    }
};
```

最近公共祖先

> 《剑指 Offer》 7.2 案例二

问题描述

> 给定一棵树的根节点 `root`，和其中的两个节点 `p1` 和 `p2`，求它们的最小公共父节点。

如果树是二叉搜索树

- 找到第一个满足 `p1 < root < p2` 的根节点，即为它们的最小公共父节点；
- 如果寻找的过程中，没有这样的 `root`，那么 `p1` 和 `p2` 的最小公共父节点必是它们之一，此时遍历到 `p1` 或 `p2` 就返回。

如果树的节点中保存有指向父节点的指针

- 问题等价于求两个链表的第一个公共节点

  > 两个链表的第一个公共节点

如果只是普通的二叉树

> 236. 二叉树的最近公共祖先 - LeetCode

- 利用两个辅助链表/数组，保存分别到 `p1` 和 `p2` 的路径；

> 获取节点的路径

- 则 `p1` 和 `p2` 的最小公共父节点就是这两个链表的最后一个公共节点
- **C++**

```
class Solution {
    bool getPath(TreeNode* root, TreeNode* p, deque<TreeNode*>& path) {
        if (root == nullptr)
            return false;

        path.push_back(root);
        if (p == root)
            return true;

        bool found = false;
        if (!found)
            found = getPath(root->left, p, path);
        if (!found)
            found = getPath(root->right, p, path);

        if (!found)
            path.pop_back();

        return found;
    }

public:
    TreeNode* lowestCommonAncestor(TreeNode* root, TreeNode* p, TreeNode* q) {

        deque<TreeNode*> path_p;
        auto found_p = getPath(root, p, path_p);
        deque<TreeNode*> path_q;
        auto found_q = getPath(root, q, path_q);

        TreeNode* ret = root;
        if (found_p && found_q) {
            auto it_p = path_p.begin();
            auto it_q = path_q.begin();

            while (it_p != path_p.end() && it_q != path_q.end()) {
                if (*it_p != *it_q)
                    return ret;

                ret = *it_p;
                it_p++, it_q++;
            }
            return ret;
        }

        return nullptr;
    }
};
```

获取节点的路径

二叉树

```
// 未测试
#include <deque>

bool getPath(TreeNode* root, TreeNode* p, deque<TreeNode*>& path) {
    if (root == nullptr)
        return false;

    path.push_back(root);
    if (p == root)
        return true;

    bool found = false;
    if (!found)
        found = getPath(root->left, p, path);
    if (!found)
        found = getPath(root->right, p, path);

    if (!found)
        path.pop_back();

    return found;
}
```

非二叉树

```
// 未测试
#include <deque>
struct TreeNode {
    int                         val;
    std::vector<TreeNode*>      children;
};

bool getPath(const TreeNode* root, const TreeNode* p, deque<const TreeNode*>& path) {
    if (root == nullptr)
        return false;

    path.push_back(root);
    if (root == p)
        return true;

    bool found = false;
    auto i = root->children.begin();            // 顺序遍历每个子节点
    while (!found && i < root->children.end()) {
        found = GetNodePath(*i, p, path);
        ++i;
    }

    if (!found)  // 如果没有找到就，说明当前节点不在路径内，弹出
```

```
            path.pop_back();

        return found;
    }
```

链表

旋转链表（Rotate List）

> LeetCode/61. 旋转链表

问题描述

```
给定一个链表，旋转链表，将链表每个节点向右移动 k 个位置，其中 k 是非负数。

示例 1:
    输入: 1->2->3->4->5->NULL, k = 2
    输出: 4->5->1->2->3->NULL
    解释:
    向右旋转 1 步: 5->1->2->3->4->NULL
    向右旋转 2 步: 4->5->1->2->3->NULL
示例 2:
    输入: 0->1->2->NULL, k = 4
    输出: 2->0->1->NULL
    解释:
    向右旋转 1 步: 2->0->1->NULL
    向右旋转 2 步: 1->2->0->NULL
    向右旋转 3 步: 0->1->2->NULL
    向右旋转 4 步: 2->0->1->NULL
```

思路

- 双指针 `l, r` 记录两个位置，其中 `l` 指向倒数第 `k+1` 个节点，`r` 指向最后一个非空节点；
- 然后将 `r` 指向头结点 `h`，`h` 指向 `l` 的下一个节点，最后断开 `l` 与下一个节点；
- 注意 `k` 可能大于链表的长度，此时可能需要遍历两次链表

代码 **1**

- 比较直观的写法，代码量稍大

```
# class ListNode:
#     def __init__(self, x):
#         self.val = x
#         self.next = None

class Solution:
    def rotateRight(self, h, k):
        """
        :type h: ListNode
        :type k: int
        :rtype: ListNode
```

```
        """
        if not h or k == 0:
            return h

        n = 1  # 记录链表的长度，因为只遍历到最后一个非空节点，所以从 1 开始
        l = h
        r = h  # tail
        while r.next is not None and k > 0:
            k -= 1
            n += 1
            r = r.next

        # print(k, n)
        if k > 0:
            k -= 1  # 这里要先减 1，因为 n 是从 1 开始计数的
            k = k % n
            r = h
            while k > 0:
                k -= 1
                r = r.next

        # 找到倒数第 k 个节点
        while r.next is not None:
            l = l.next
            r = r.next

        r.next = h
        h = l.next
        l.next = None

        return h
```

代码 **2**

- 代码量少一点，但是遍历的长度要多一点。

```
class Solution:
    def rotateRight(self, h, k):
        """
        :type h: ListNode
        :type k: int
        :rtype: ListNode
        """
        if not h or k == 0:
            return h

        n = 1  # 记录链表的长度，因为只遍历到最后一个非空节点，所以从 1 开始
        r = h  # tail
        while r.next is not None:
            n += 1
            r = r.next

        r.next = h  # 构成环
```

```
        k %= n
        t = n - k
        while t > 0:
            r = r.next
            t -= 1

        h = r.next
        r.next = None  # 断开 链表

        return h
```

反转链表

> [反转链表](#) - 牛客

题目描述

> 输入一个链表，反转链表后，输出新链表的表头。

- 要求：不使用额外空间

思路

- 辅助图示思考

Code（迭代）

```
class Solution {
public:
    ListNode * ReverseList(ListNode* head) {
        if (head == nullptr)
            return nullptr;

        ListNode* cur = head;         // 当前节点
        ListNode* pre = nullptr;      // 前一个节点
        ListNode* nxt = cur->next;    // 下一个节点
        cur->next = nullptr;          // 断开当前节点及下一个节点（容易忽略的一步）
        while (nxt != nullptr) {
            pre = cur;         // 把前一个节点指向当前节点
            cur = nxt;         // 当前节点向后移动
            nxt = nxt->next;   // 下一个节点向后移动
            cur->next = pre;   // 当前节点的下一个节点指向前一个节点
        }
        return cur;
    }
};
```

Code（递归）

```
class Solution {
public:
    ListNode * ReverseList(ListNode* head) {
        if (head == nullptr || head->next == nullptr)
            return head;

        auto nxt = head->next;
        head->next = nullptr;       // 断开当前节点及下一个节点
        auto new_head = ReverseList(nxt);
        nxt->next = head;
        return new_head;
    }
};
```

合并排序链表

> 合并两个排序的链表 - 牛客

问题描述

> 输入两个单调递增的链表，输出两个链表合成后的链表，当然我们需要合成后的链表满足单调不减规则。

迭代

```
class Solution {
public:
    ListNode* Merge(ListNode* p1, ListNode* p2) {
        if (p1 == nullptr) return p2;
        if (p2 == nullptr) return p1;

        // 选择头节点
        ListNode* head = nullptr;
        if (p1->val <= p2->val) {
            head = p1;
            p1 = p1->next;
        } else {
            head = p2;
            p2 = p2->next;
        }

        auto cur = head;
        while (p1 && p2) {
            if (p1->val <= p2->val) {
                cur->next = p1;
                p1 = p1->next;
            } else {
                cur->next = p2;
                p2 = p2->next;
            }
            cur = cur->next;
        }
```

```
        // 别忘了拼接剩余部分
        // if (p1) cur->next = p1;
        // if (p2) cur->next = p2;
        if (p1) {
            cur->next = p1;
        } else if (p2) {
            cur->next = p2;
        } else {
            cur->next = nullptr;
        }

        return head;
    }
};
```

递归

```
class Solution {
public:
    ListNode* Merge(ListNode* p1, ListNode* p2){
        if (!p1) return p2;
        if (!p2) return p1;

        if (p1->val <= p2->val) {
            p1->next = Merge(p1->next, p2);
            return p1;
        } else {
            p2->next = Merge(p1, p2->next);
            return p2;
        }
    }
};
```

两个链表的第一个公共节点

思路 1

- 先求出两个链表的长度 `l1` 和 `l2`，然后让长的链表先走 `|l1-l2|` 步，此时两个指针距离第一个公共节点的距离相同，再走相同的步数即可在第一个公共节点相遇
- 时间复杂度 `O(m + n)`
- 代码（未测试）

```
ListNode* FindFirstCommonNode(ListNode *pHead1, ListNode *pHead2) {
    ListNode *back1 = nullptr;
    int l1 = GetListLength(pHead1, back1);  // 返回链表的长度及尾节点指针
    ListNode *back2 = nullptr;
    int l2 = GetListLength(pHead2, back2);

    if (back1 != back2)   // 没有公共节点
        return nullptr;
```

```
    ListNode *p1 = pHead1;
    ListNode *p2 = pHead2;
    if (l1 > l2) {
        int d = l1 - l2;
        while (d--)
            p1 = p1->next;
        while (p1 != p2) {
            p1 = p1->next;
            p2 = p2->next;
        }
    } else {
        int d = l2 - l1;
        while (d--)
            p2 = p2->next;
        while (p1 != p2) {
            p1 = p1->next;
            p2 = p2->next;
        }
    }
    return p1;
```

思路 **2**

- 两个指针同时开始遍历，
- 当其中一个指针到达尾节点时，转到另一个链表继续遍历；
- 当另一个指针也到达尾节点时，也转到另一个链表继续遍历；
- 此时两个指针距离第一个公共节点的距离相同，再走相同的步数即可在第一个公共节点相遇
- 时间复杂度 `O(m + n)`
- 代码（未测试）

```
ListNode* FindFirstCommonNode(ListNode *pHead1, ListNode *pHead2) {
    ListNode *back1 = nullptr;
    GetListLength(pHead1, back1);  // 获取尾节点指针
    ListNode *back2 = nullptr;
    GetListLength(pHead2, back2);

    if (back1 != back2)   // 没有公共节点
        return nullptr;

    ListNode *p1 = pHead1;
    ListNode *p2 = pHead2;
    while(p1!=p2){
        p1 = (p1==NULL ? pHead2 : p1->next); // 游标到达尾部后，转到另一条链表
        p2 = (p2==NULL ? pHead1 : p2->next);
    }
    return p1;
```

链表排序

> 链表排序（冒泡、选择、插入、快排、归并、希尔、堆排序） - tenos - 博客园

链表快排

> LeetCode/148. 排序链表

问题描述

```
在 O(n log n) 时间复杂度和常数级空间复杂度下，对链表进行排序。

示例 1:
    输入: 4->2->1->3
    输出: 1->2->3->4
示例 2:
    输入: -1->5->3->4->0
    输出: -1->0->3->4->5
```

思路

- 与数组快排几乎一致，只是 partition 操作需要从左向右遍历；
- 因为涉及指针，还是用 C++ 写比较方便；
- 另外 LeetCode 讨论区反映 Python 可能会超时；
- **时间复杂度**：最好 `O(NlogN)`，最坏 `O(N^2)`

代码 **1** - 只交换节点内的值

- 参考数组快排中的写法，这里选取**第一个元素**作为枢纽

```cpp
/**
 * Definition for singly-linked list.
 * struct ListNode {
 *     int val;
 *     ListNode *next;
 *     ListNode(int x) : val(x), next(NULL) {}
 * };
 */

class Solution {

    void qsort(ListNode* lo, ListNode* hi) {
        if (lo == hi || lo->next == hi)  // 至少有一个元素
            return;

        auto mid = partition(lo, hi);
        qsort(lo, mid);
        qsort(mid->next, hi);
    }

    ListNode* partition(ListNode* lo, ListNode* hi) {  // 链表范围为 [lo, hi)
        int key = lo->val;  // 以 low 作为枢纽
        auto mid = lo;
        for (auto i=lo->next; i != hi; i = i->next) {
            if (i->val < key) {
```

```
                mid = mid->next;
                swap(i->val, mid->val);  // 交换节点内的值
            }
        }

        swap(lo->val, mid->val);         // 交换 low 与 mid

        return mid;
    }

public:
    ListNode* sortList(ListNode* head) {
        if (head == nullptr || head->next == nullptr)
            return head;

        qsort(head, nullptr);  // 传入首尾区间，是一个半开区间
        return head;
    }
};
```

代码 **2** - 交换节点

- ~~需要要重写 `swap`，而且注意，因为是链表，所以传入的节点应该是需要交换节点的前置节点~~
- 依然选择第一个节点作为枢纽；然后把小于枢纽的节点放到一个链中，不小于枢纽的及节点放到另一个链中，最后拼接两条链以及枢纽。

```
/**
 * Definition for singly-linked list.
 * struct ListNode {
 *     int val;
 *     ListNode *next;
 *     ListNode(int x) : val(x), next(NULL) {}
 * };
 */

class Solution {
    void qsort(ListNode* pre, ListNode* lo, ListNode* hi) {  // 链表范围为 [lo, hi), pre 为
lo 的前置节点
        if (lo == hi || lo->next == hi)  // 至少有一个元素
            return;

        auto mid = partition(pre, lo, hi);
        qsort(pre, pre->next, mid);  // qsort(pre, lo, mid);
        qsort(mid, mid->next, hi);
    }

    ListNode* partition(ListNode* pre, ListNode* lo, ListNode* hi) {
        int key = lo->val;
        auto mid = lo;  // 不是必须的，直接使用 lo 也可以

        ListNode ll(0), rr(0);  // 创建两个新链表
        auto l = &ll, r = &rr;  // ListNode *l = &ll, *r = &rr;
```

```
        for (auto i=lo->next; i != hi; i = i->next) {  // i 从 lo 的下一个节点开始遍历，因为 lo 是枢纽不参与遍历
            if (i->val < key) {
                l = l->next = i;  // python 中不能这么写
            } else {
                r = r->next = i;  // python 中不能这么写
            }
        }

        // 拼接
        r->next = hi;
        l->next = mid;  // 这里的 mid 实际上就是 lo，即 l->next = lo
        mid->next = rr.next;
        pre->next = ll.next;

        return mid;  // 返回中枢
    }

public:
    ListNode* sortList(ListNode* head) {
        if(head == nullptr || head->next == nullptr)
            return head;

        ListNode pre(0);  // 设置一个新的头结点
        pre.next = head;
        qsort(&pre, head, nullptr);

        return pre.next;
    }
};
```

链表归并

> LeetCode/148. 排序链表

问题描述

```
在 O(n log n) 时间复杂度和常数级空间复杂度下，对链表进行排序。

示例 1:
    输入: 4->2->1->3
    输出: 1->2->3->4
示例 2:
    输入: -1->5->3->4->0
    输出: -1->0->3->4->5
```

思路

- 用快慢指针的方法找到链表中间节点，然后递归的对两个子链表排序，把两个排好序的子链表合并成一条有序的链表
- 归并排序比较适合链表，它可以保证了最好和最坏时间复杂度都是 `O(NlogN)`，而且它在数组排序中广受诟病的空间复杂度在链表排序中也从O(n)降到了 `O(1)`

    - 因为链表快排中只能使用第一个节点作为枢纽，所以不能保证时间复杂度
- 还是使用 C++
- 时间复杂度：最好/最坏 `O(NlogN)`

C++

```
/**
 * Definition for singly-linked list.
 * struct ListNode {
 *     int val;
 *     ListNode *next;
 *     ListNode(int x) : val(x), next(NULL) {}
 * };
 */

class Solution {
    ListNode* merge(ListNode *h1, ListNode *h2) {  // 排序两个链表
        if (h1 == nullptr) return h2;
        if (h2 == nullptr) return h1;

        ListNode* h;  // 合并后的头结点
        if (h1->val < h2->val) {
            h = h1;
            h1 = h1->next;
        } else {
            h = h2;
            h2 = h2->next;
        }

        ListNode* p = h;
        while (h1 && h2) {
            if (h1->val < h2->val) {
                p->next = h1;
                h1 = h1->next;
            } else {
                p->next = h2;
                h2 = h2->next;
            }
            p = p->next;
        }

        if (h1) p->next = h1;
        if (h2) p->next = h2;

        return h;
    }

public:
    ListNode* sortList(ListNode* h) {
        if (h == nullptr || h->next == nullptr)
            return h;

        auto f = h, s = h;  // 快慢指针 fast & slow
```

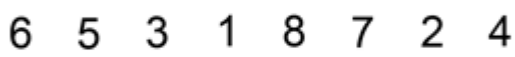
```
        while (f->next && f->next->next) {
            f = f->next->next;
            s = s->next;
        }
        f = s->next;  // 中间节点
        s->next = nullptr; // 断开

        h = sortList(h);  // 前半段排序
        f = sortList(f);  // 后半段排序

        return merge(h, f);
    }
};
```

链表插入排序

> LeetCode/147. 对链表进行插入排序
>
> > 注意：以下代码在148. 排序链表也能 AC（要求时间复杂度 `O(NlogN)`）

问题描述

```
对链表进行插入排序。

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。
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。
重复直到所有输入数据插入完为止。

示例 1：
    输入：4->2->1->3
    输出：1->2->3->4
示例 2：
    输入：-1->5->3->4->0
    输出：-1->0->3->4->5
```



- 插入排序的动画演示如上。从第一个元素开始，该链表可以被认为已经部分排序（用黑色表示）。 每次迭代时，从输入数据中移除一个元素（用红色表示），并原地将其插入到已排好序的链表中。

思路

- 见代码注释
- **时间复杂度**：最好/最坏 `O(N^2)`

代码 **1** - 非原地

- 实际上，对链表来说，不存在是否原地的问题，不像数组
- 这里所谓的非原地是相对数组而言的，因此下面的代码只针对链表，不适用于数组。

```
class Solution {
public:
    ListNode* insertionSortList(ListNode* h) {
        if (h == nullptr || h->next == nullptr)
            return h;

        // 因为是链表，所以可以重新开一个新的链表来保存排序好的部分；
        // 不存在空间上的问题，这一点不像数组
        auto H = new ListNode(0);

        auto pre = H;
        auto cur = h;
        ListNode* nxt;
        while (cur) {
            while (pre->next && pre->next->val < cur->val) {
                pre = pre->next;
            }

            nxt = cur->next;  // 记录下一个要遍历的节点
            // 把 cur 插入 pre 和 pre->next 之间
            cur->next = pre->next;
            pre->next = cur;

            // 重新下一轮
            pre = H;
            cur = nxt;
        }

        h = H->next;
        delete H;
        return h;
    }
};
```

代码 **2** - 原地

- 即不使用新链表，逻辑与数组一致；
- 此时链表拼接的逻辑会复杂一些

```
class Solution {
public:
    ListNode* insertionSortList(ListNode* h) {
        if (h == nullptr || h->next == nullptr)
            return h;

        auto beg = new ListNode(0);
        beg->next = h;
        auto end = h;   // (beg, end] 指示排好序的部分
```

```
        auto p = h->next;  // 当前待排序的节点
        while (p) {
            auto pre = beg;
            auto cur = beg->next;  // p 将插入到 pre 和 cur 之间
            while (cur != p && p->val >= cur->val) {
                cur = cur->next;
                pre = pre->next;
            }

            if (cur == p) {
                end = p;
            } else {
                end->next = p->next;
                p->next = cur;
                pre->next = p;
            }
            p = end->next;
        }

        h = beg->next;
        delete beg;
        return h;
    }
};
```

链表选择排序

> LeetCode/147. 对链表进行插入排序
>
> > 注意：以下代码在148. 排序链表也能 AC（要求时间复杂度 `O(NlogN)`）

思路

- 见代码注释
- 时间复杂度：最好/最坏 `O(N^2)`

C++

```
class Solution {
public:
    ListNode* sortList(ListNode* h) {
        if (h == nullptr || h->next == nullptr)
            return h;

        auto H = new ListNode(0);  // 为了操作方便，添加一个头结点
        H->next = h;

        auto s = h;  // 指向已经排好序的尾部
        ListNode* m;  // 指向未排序部分的最小节点 min
        ListNode* p;  // 迭代器
        while (s->next) {
            m = s;
            p = s->next;
```

```
            while (p) {  // 寻找剩余部分的最小节点
                if (p->val < m->val)
                    m = p;
                p = p->next;
            }

            swap(s->val, m->val);  // 交换节点内的值
            s = s->next;
        }

        h = H->next;
        delete H;
        return h;
    }
};
```

链表冒泡排序

> LeetCode/147. 对链表进行插入排序

思路

- 见代码注释
- 时间复杂度：最好 `O(N)`，最坏 `O(N^2)`

C++

- 以下代码不能 AC 148. 排序链表

```
class Solution {
public:
    ListNode* insertionSortList(ListNode* h) {
        if (h == nullptr || h->next == nullptr)
            return h;

        ListNode* q = nullptr;  // 开始时指向尾节点
        ListNode* p;  // 迭代器
        bool changed = true;
        while (q != h->next && changed) {
            changed = false;
            p = h;

            // 把大的元素“冒泡”到尾部去
            while (p->next && p->next != p) {
                if (p->val > p->next->val) {  // 如果已经有序，则退出循环
                    swap(p->val, p->next->val);
                    changed = true;
                }
                p = p->next;
            }
            q = p;
        }

        return h;
```

```
    }
};
```

二维数组

二分查找

搜索二维矩阵 1

> LeetCode - 74. 搜索二维矩阵

问题描述

```
编写一个高效的算法来判断 m x n 矩阵中，是否存在一个目标值。该矩阵具有如下特性：

    每行中的整数从左到右按升序排列。
    每行的第一个整数大于前一行的最后一个整数。

示例 1:
输入:
    matrix = [
    [1,   3,  5,  7],
    [10, 11, 16, 20],
    [23, 30, 34, 50]
    ]
    target = 3
输出: true
```

思路

- 当做一维有序数组二分查找

C++

```
class Solution {
public:
    bool searchMatrix(vector<vector<int>>& M, int t) {
        if (M.size() < 1 || M[0].size() < 1)
            return false;

        int m = M.size();
        int n = M[0].size();

        int lo = 0;
        int hi = m * n;

        while (lo + 1 < hi) {
            int mid = lo + (hi - lo) / 2;
            if (M[mid / n][mid % n] > t) {
                hi = mid;
            } else {
```

```
                lo = mid;
            }
        }

        return M[lo / n][lo % n] == t;
    }
};
```

搜索二维矩阵 2

> LeetCode - 240. 搜索二维矩阵 II

思路

- 1）从右上角开始查找，时间复杂度 `O(M+N)`
- 2）每一行二分查找，时间复杂度 `O(MlogN)`

```
class Solution {
public:
    bool searchMatrix(vector<vector<int>>& M, int t) {
        if (M.size() < 1 || M[0].size() < 1)
            return false;

        auto m = M.size();
        auto n = M[0].size();

        int row = 0;
        int col = n - 1;
        while(row <= m - 1 && col >= 0) {
            if (M[row][col] < t)
                row++;
            else if (M[row][col] > t)
                col--;
            else
                return true;
        }

        return false;
    }
};
```

打印二维数组

回形打印

蛇形打印

堆

堆的调整（自上而下）

栈

用两个栈模拟队列

> 用两个栈实现队列 - 牛客

题目描述

> 用两个栈来实现一个队列，完成队列的 Push 和 Pop 操作。

思路

- 假设 `stack_in` 用于处理入栈操作，`stack_out`用于处理出栈操作
- `stack_in` 按栈的方式正常处理入栈数据；
- 关键在于出栈操作
  - 当`stack_out`为空时，需要先将每个`stack_in`中的数据出栈后压入`stack_out`
  - 反之，每次弹出`stack_out`栈顶元素即可

Code（C++）

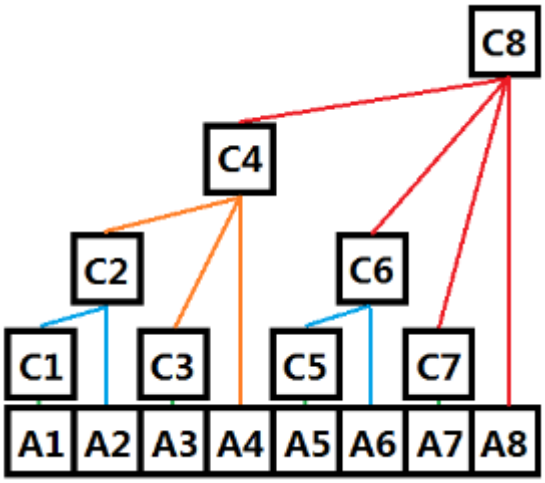
```
class Solution {
    stack<int> stack_in;
    stack<int> stack_out;
public:
    void push(int node) {
        stack_in.push(node);
    }

    int pop() {
        if(stack_out.size() <= 0) {
            while (stack_in.size() > 0) {
                auto tmp = stack_in.top();
                stack_in.pop();
                stack_out.push(tmp);
            }
        }

        auto ret = stack_out.top();
        stack_out.pop();
        return ret;
    }
};
```

专题-数据结构_Advanced

Index

树状数组

- 树状数组是一种用于维护**前缀信息**的数据结构



- 树状数组 `C` 在物理空间上是连续的；
- 对于数组中的两个位置 `C[x], C[y]`，若满足 `y = x + 2^k`（其中 `k` 表示 `x` 二进制中末尾 **0** 的个数），则定义 `C[x], C[y]` 为一组父子关系；

```
4 的二进制为 100，则 k = 2
  所以 4 是 4 + 2^2 = 8 的孩子
5 的二进制位 101，则 k = 0
  所以 5 是 5 + 2^0 = 6 的孩子
```

- 由以上定义，可知**奇数**下标的位置一定是叶子节点

C[i] 的直观含义

- `C[i]` 实际上表示原数组中一段区间内的某个统计意义（区间和、区间积、区间最值等等）；
- 该区间为 `[i-2^k+1, i]`，是一个闭区间；
- 以区间和为例

```
1=(001)     C[1]=A[1];
2=(010)     C[2]=A[1]+A[2];
3=(011)     C[3]=A[3];
4=(100)     C[4]=A[1]+A[2]+A[3]+A[4];
5=(101)     C[5]=A[5];
6=(110)     C[6]=A[5]+A[6];
7=(111)     C[7]=A[7];
8=(1000)    C[8]=A[1]+A[2]+A[3]+A[4]+A[5]+A[6]+A[7]+A[8];
```

树状数组的构建（以区间和问题为例）

> LeetCode - [307. 区域和检索 - 数组可修改]

问题描述

```
给定一个数组，支持两种操作：
  1.查询区间和
  2.修改某个元素的值

示例：
  Given nums = [1, 3, 5]

  sumRange(0, 2) -> 9
  update(1, 2)
  sumRange(0, 2) -> 8
```

- 构建树状数组的过程即初始化数组 `C` 的过程
- 基本操作：
  - `lowbit(x)` ——求 2^k，其中 k 表示 x 二进制位中后缀 0 的个数
  - `updateC(x, delta)` ——更新 C 数组中 A[x] 的祖先
    - 如果是初始化阶段 delta = A[i]，
    - 如果是更新 A[i]，则 delta = new_val - A[i]
  - `sumPrefix(x)` ——求前缀区间 [1, x] 的和
  - `update(i, val)` ——更新 A[i] = val，同时也会更新所有 A[i] 的祖先
  - `sumRange(lo, hi)` ——求范围 [lo, hi] 的区间和

C++

```cpp
class NumArray {
    int n;
    vector<int> A;
    vector<int> C;

    // 求 2^k，其中 k 表示 x 二进制位中后缀 0 的个数
```

```cpp
    int lowbit(int x) {
        return x & (-x);
    }

    // 更新 C 数组，对 A[x] 的每个祖先都加上 delta：
    // 如果是初始化阶段 delta = A[i]，如果是更新 A[i]，则 delta = new_val - A[i]
    void updateC(int x, int delta) {
        for (int i = x; i <= n; i += lowbit(i)) {
            C[i] += delta;
        }
    }

    // 求前缀区间 [1, x] 的和
    int sumPrefix(int x) {
        int res = 0;
        for (int i = x; i > 0; i -= lowbit(i)) {
            res += C[i];
        }
        return res;
    }
public:
    // 初始化
    NumArray(vector<int> nums) {
        n = nums.size();
        A.resize(n + 1, 0);
        C.resize(n + 1, 0);
        for (int i = 1; i <= n; i++) {
            A[i] = nums[i - 1];  // 树状数组的内部默认从 1 开始计数
            updateC(i, A[i]);
        }
    }

    // 将 A[i] 的值更新为 val
    void update(int i, int val) {
        i++;                    // 树状数组的内部默认从 1 开始计数，如果外部默认从 0 开始计数，则需要
+1;
        updateC(i, val - A[i]);     // 更新 A[i] 的所有祖先节点，加上 val 与 A[i] 的差即可
        A[i] = val;
    }

    // 求范围 [lo, hi] 的区间和
    int sumRange(int lo, int hi) {
        lo++; hi++;          // 树状数组的内部默认从 1 开始计数，如果外部默认从 0 开始计数，则需要 +1;
        return sumPrefix(hi) - sumPrefix(lo - 1);
    }
};

void solve() {
    vector<int> nums{1, 3, 5};
    auto na = NumArray(nums);
    int ret;
    ret = na.sumRange(0, 2);
    na.update(1, 2);
```

```
    ret = na.sumRange(0, 2);
}
```

树状数组的特点

- 线段树不能解决的问题，树状数组也无法解决；
- 树状数组和线段树的时间复杂度相同：初始化 `O(n)`，查询和修改 `O(logn)`；但实际效率要高于线段树；
- 直接维护前缀信息也能解决查询问题，但是修改的时间复杂度会比较高；

相关问题

- 665. 二维区域和检索 - 矩阵不可变 - LintCode
- 817. 二维区域和检索 - 矩阵可变 - LintCode
- 249. 统计前面比自己小的数的个数 - LintCode
- 248. 统计比给定整数小的数的个数 - LintCode
- 532. 逆序对 - LintCode

相关阅读

- 夜深人静写算法（三）- 树状数组 - CSDN博客

<!--

线段树

字典树（Trie）

-->

数据结构设计

LRU 缓存

> LeetCode/146. LRU缓存机制

思路

- 双向链表 + haspmap
  - 数据除了被保存在链表中，同时也保存在 map 中；前者用于记录数据的顺序结构，后者以实现 `O(1)` 的访问。
- 更新过程：
  - 新数据插入到链表头部
  - 每当缓存命中（即缓存数据被访问），则将数据移到链表头部
  - 当链表满的时候，将链表尾部的数据丢弃
- 操作：
  - `put(key, value)`：如果 key 在 hash_map 中存在，则先**重置对应的 value 值**，然后获取对应的节点，将节点从链表移除，并移动到链表的头部；若果 key 在 hash_map 不存在，则新建一个节点，并将节点放到链表的头部。当 Cache 存满的时候，将链表最后一个节点删除。

- `get(key)`：如果 key 在 hash_map 中存在，则把对应的节点放到链表头部，并返回对应的value值；如果不存在，则返回-1。

C++（AC）

```
// 缓存节点（双端队列）
struct CacheNode {
    int key;
    int value;
    CacheNode *pre, *next;
    CacheNode(int k, int v) : key(k), value(v), pre(nullptr), next(nullptr) {}
};

class LRUCache {
    int size = 0;
    CacheNode* head = nullptr;
    CacheNode* tail = nullptr;
    unordered_map<int, CacheNode*> dp;  // hash_map

    void remove(CacheNode *node) {
        if (node != head) {  // 修改后序节点是需判断是否头结点
            node->pre->next = node->next;
        }
        else {
            head = node->next;
        }

        if (node != tail) {  // 修改前序节点是需判断是否尾结点
            node->next->pre = node->pre;
        }
        else {
            tail = node->pre;
        }

        // remove 时不销毁该节点
        //delete node;
        //node = nullptr;
    }

    void setHead(CacheNode *node) {
        node->next = head;
        node->pre = nullptr;

        if (head != nullptr) {
            head->pre = node;
        }
        head = node;

        if (tail == nullptr) {
            tail = head;
        }
    }
public:
```

```
    LRUCache(int capacity) : size(capacity) { }

    int get(int key) {
        auto it = dp.find(key);
        if (it != dp.end()) {
            auto node = dp[key];

            // 如果命中了，把该节点移动到头部
            remove(node);
            setHead(node);

            return node->value;
        }

        return -1;
    }

    void put(int key, int value) {
        auto it = dp.find(key);
        if (it != dp.end()) {
            auto node = dp[key];

            node->value = value;    // 更新
            remove(node);
            setHead(node);
        }
        else {
            auto node = new CacheNode(key, value);
            setHead(node);
            dp[key] = node;

            // 关键：判断容量
            //if (dp.size() >= size) {  // 若先删除节点，则为 >=
            if (dp.size() > size) {     // 若先存入 dp，则为 >
                auto it = dp.find(tail->key);
                remove(tail);

                // 这里才销毁内存（即使不销毁也能过 LeetCode）
                delete it->second;
                it->second = nullptr;

                dp.erase(it);  // 先销毁，在移除
            }
        }
    }
};
```