# 数据结构

数据结构包括**线性结构**和**非线性结构**；

## 线性结构

1. 线性结构是最常见的数据结构，特点是数据元素之间存在一对一的线性关系；
2. 线性结构有两种不同的存储结构，顺序存储结构和链式存储结构：

顺序存储的线性表成为顺序表，顺序表的存储元素是连续的，如数组：依次往下保存；

链式存储的线性表成为链表，链表中的存储元素不一定是连续的，元素节点中存放数据元素以及相邻元素的地址信息；

1. 线性结构常见的有数组、队列、链表和栈；

## 非线性结构

非线性结构包括：二维数组、多维数组、广义表、树结构、图结构

# 稀疏数组和队列

## 稀疏数组

当一个数组中大部分元素都为0，或者为同一值的数组时，可以使用稀疏数组来保存该数据；

1. 稀疏数组的处理方法：
2. 记录数组一共有几行几列，有多少个不同的值
3. 把具有不同值的元素的队列及值记录在一个规模数组中，从而缩小程序的规模；

第一列数据表示：6行7列8个值

PS：数组下标是从0开始的；

EG：需求保存五子棋中下棋的位置

1. 二维数组转为稀疏数组的思路：
2. 遍历原始的二维数组，得到有效数据的个数sum；
3. 根据sum创建稀疏数组sparseArray int[sum+1][3];
4. 将二维数组的有效数据存入稀疏数组；
5. 稀疏数组转为二维数组：
6. 先读取稀疏数组第一行，根据第一行创建原始的二位数组：

**int[][]** origin = **new int[**sparse**[**0**][**0**]][**sparse**[**0**][**1**]]**;

1. 读取稀疏数组最后几行的数据，并赋予原始的二位数组；

## 队列

1. 队列的介绍
2. 队列是一个有序列表，可以用数组或者链表来实现；
3. 遵循先入先出的原则；
4. 数组模拟队列：



maxSize为该队列的最大容量；front和rear作为两个指针，记录队列的前后端指标，初始位置是-1；

存入数据后，rear值为存放值的最大下标，front为已取出值下标+1；

存数据rear加，front不变；取数据rear不变，front加；

思路：

1. addQueue 添加队列
2. 当rear<maxSize-1时数据存入rear为下标的元素中，然后rear上移++；
3. 当rear=maxSize-1，数组存满；
4. fetchQueue 获取队列
5. 先将front指针上移+1，取出对应下标的值；
6. 如果front=rear，则队列取完；
7. 数组模拟环形队列

思路：

1. front：初始值0，指向队列的第一个元素的当前位置;
2. rear： 初始值0，指向队列后一个元素的后面一个位置，为了空出来一个空间做约定，发现要不没办法判断队列是否满，因为取模实现循环，判断只能使用==。所以导致实际队列存放的数据是数组maxSize-1;
3. 队列为空的条件：front==rear；
4. 队列为满的条件：(rear+1)%maxSize==front；
5. 队列中的有效数据的个数：(rear+ maxSize - front)%maxSize

# 链表(Linked List)

链表是有序的列表，内存中存储模型如下:

小结：

1. 链表是以节点存储的；
2. 每个节点包含data域和next域：指向下一个节点；
3. 链表的各个节点不是连续存储的，即next域记录内存地址不是连续的；
4. 链表分为带头节点的链表和无头节点的链表；
5. 头指针记录第一个数据的地址；
6. 第一个数据的地址在data域获取数据，在next域获取下一个数据的地址；依次往后，直到next域内容为null；

## 单链表

单链表：带有头结点，逻辑结构如下：



最后一个的next域为null，这只是逻辑结构，实际在内存中a1，a2...是不连续的；

1. 依次添加Node
2. 先创建一个head头节点，作用是表示单链表的头。初始情况下头节点的next域为null；
3. 后面每添加一个节点，就直接加入到链表的最后

此时需要遍历找到最后一个节点，头节点都是不能动的，需要引入一个临时节点tempNode来承接数据；

1. 然后tempNode一直赋予next，直到next == null;

CODE

节点的数据结构：

**class** HeroNode**{  
 public int no**;  
 **public** String **name**;  
 //自己当时理解的是存的地址的具体信息  
 //其实存的就是对象 他本身就是一个地址  
 **public** HeroNode **next**;  
 **public** HeroNode**(int** no, String name**) {  
 this**.**no** = no;  
 **this**.**name** = name;  
 **}  
}**

添加节点：

**private** HeroNode **headNode** = **new** HeroNode**(**0,**"")**; //头节点  
**public void** addNode**(**HeroNode newNode**){** HeroNode temp = **headNode**;  
 **while (true) {** //标志找到了当前队列的最后一个元素  
 **if (**temp.**next** == **null) {** temp.**next** = newNode;  
 **break**;  
 **}** //否则就一直往后走  
 //以为将当前元素的内存地址赋予了temp，那么更改temp就是更改对应的LinkedList的最后一个元素  
 temp = temp.**next**;   
 **}  
}**

1. 按顺序添加Node



1. 首先定位位置，仍然是需要借助临时节点：需要找到新节点的前一个节点，这样将新节点插入该节点后面即可；
2. 定位条件：
3. temp.next == null 即新节点是位于最后一个节点的位置；
4. temp.**next**.**no** > newNode.**no** temp刚好是新节点的前一个节点
5. newNode.next = temp.next;
6. temp.next = newNode;
7. 单链表面试题：
8. 求链表中有效节点的个数，参数为头节点

遍历即可，头节点要去掉

1. 查找倒数第K个节点

获取链表总长度length，然后遍历得到第length-k+1个节点；

1. 单链表翻转

思路：

1. 先定义一个headNode来承接翻转后获取的链表；
2. 从头到尾遍历原链表，每遍历一个，就放在新链表的headNode后面；

PS：此处需要单独保存原节点的next，如不然，因为需要将新链表headNode.next赋给该找到的节点的next域，这样这导致该节点.next.next的丢失

代码：

HeroNode current = headNode.**next**;  
HeroNode curNext;  
HeroNode newHeadNode = **new** HeroNode**(**0,**"")**;  
//自己之前没有保存current.next 导致current被重新赋值后其next的丢失  
//注意此处涉及到内存地址的相互指向  
//所以要注意赋值的形式  
**while (**current != **null){** curNext = current.**next**;  
 current.**next** = newHeadNode.**next**;  
 newHeadNode.**next** = current;  
 current = curNext;  
**}**headNode.**next** = newHeadNode.**next**;

1. 从尾到头打印链表

根据栈这个数据结构的特点：先进后出

遍历放入栈中，然后遍历栈：

Stack**<**HeroNode**>** stack = **new** Stack**<>()**;  
HeroNode temp = headNode.**next**;  
**while (**temp != **null){** stack.add**(**temp**)**;  
 temp = temp.**next**;  
**}  
while (**!stack.empty**()){** System.**out**.println**(**stack.pop**())**;  
**}**

1. 合并两个有序链表并整体保持有序

就是结合3的思路加上有序添加

## 双向链表

带有head域记录前面一个数据的位置

单向链表的缺点：

1. 单向链表的查找只能是一个方向，而双向链表可以向前、向后查找；
2. 单向链表不能自我删除，需要借助辅助节点；而双向链表可以自我删除；

双向链表的数据结构示意：



1. 双向链表的添加：
2. 通过辅助接点找到链表的最后一个节点；
3. temp.next = newNode
4. newNode.pre = temp;

**void** addNode**(**HeroNode newNode**){** HeroNode temp = **this**.**headNode**;  
 **while (**temp.**next** != **null) {** temp = temp.**next**;  
 **}** temp.**next** = newNode;  
 newNode.**pre** = temp;  
**}**

1. 双向链表的修改：

同单向链表

1. 双向链表的删除

双向链表可以自我删除

直接找到待删除节点temp：

temp.pre.next = temp.next;

temp.next.pre = temp.pre;

**void** deleteNode**(**HeroNode delNode**){** HeroNode temp = **this**.**headNode**.**next**;  
 **if (**temp == **null){** System.**out**.println**("该链表为空，无法删除")**;  
 **return**;  
 **}  
 while (true){** //相比单链的一个额外判断 要不就temp.next.pre = temp.pre报空指针  
 **if (**temp.**no** == delNode.**no** && temp.**next** == **null){** System.**out**.println**("待删除节点为最后一个节点")**;  
 temp.**pre**.**next** = temp.**next**;  
 **break**;  
 **}  
 if (**temp.**no** == delNode.**no){** temp.**pre**.**next** = temp.**next**;  
 temp.**next**.**pre** = temp.**pre**;  
 **break**;  
 **}  
 if (**temp.**next** == **null){** System.**out**.println**("未找到待删除的节点")**;  
 **break**;  
 **}** temp = temp.**next**;  
 **}  
}**

1. 双链表的按顺序添加节点：

思路同单节点，关键还在于节点的定位

**void** addNodeByOrder**(**HeroNode newNode**){** HeroNode current = **this**.**headNode**;  
 HeroNode currentNext;  
 HeroNode currentPre;  
 **while (true){  
 if (**current.**next** == **null){** System.**out**.println**("新插入节点为最后一位....")**;  
 newNode.**pre** = current;  
 current.**next** = newNode;  
 **break**;  
 **}  
 if (**current.**next**.**no** > newNode.**no){** currentNext = current.**next**;  
 currentPre = current.**pre**;  
   
 current.**next** = newNode;  
 newNode.**next** = currentNext;  
   
 newNode.**pre** = current;  
 currentPre.**pre** = newNode;  
 **break**;  
 **}** current = current.**next**;  
 **}  
}**

## 环形链表和约瑟夫问题

介绍：一个环形链表，有n个元素，约定编号为k(1<=k<=n)的人从1开始报数，数到m出列，他的下一位继续从1开始数，到m出列，依次直到所有人出列，由此产生一个出队编号的序列；

1. 构建单向环形链表的思路：
2. 先构件第一个节点，让first指向自己形成一个环形；
3. 后续每添加一个节点，就把该节点加入到已有的环形链表中；
4. 单向环形链表的遍历
5. 先让指针（辅助变量）currentNode指想first节点；
6. 然后一个个遍历直到currentNode.next == first;
7. 约瑟夫问题思路：
8. 需要创建一个辅助指针变量pre，事先指向环形量表的最后一个节点，记录要数的变量的前一个变量；

PS：报数前需要先移动k-1次至指定位置；

1. 报数时，first和pre同时迁移m-1次；
2. 此时first节点出圈：

**first** = **first**.**next**;  
helper.**next** = **first**;

原first就会没有引用而被删除

# 数据结构 --栈 stack

## 栈的介绍

1. 栈是一个先入后出(FILO -- First In Last Out)的有序列表；
2. 栈是限制限制线性表中的元素的插入和删除只能在线性表的同一端进行的特殊线性表。允许插入和删除的一段为变化的一端，成为栈顶(Top)；另一端为固定的一端，称为栈底(Bottom)；
3. 最先放入栈的元素放入栈底，最后放入栈的元素放入栈顶，而删除元素刚好相反，最后放入的先被删除，最先放入的后被删除；
4. 出栈成为pop，入栈为push；

## 栈的应用场景：

1. 子程序的调用：在调往子程序之前，会先将下个指令的地址存入栈堆中，直到子程序执行完后再将地址去除，以回到原来的程序中；
2. 处理递归调用：和子程序的调用类似，只是除了储存下一个指令的地址外，也将参数、区域变量扥数据存入栈堆中；
3. 表达式的转换[中缀转为后缀表达式]与求值；
4. 二叉树的遍历；
5. 图形的深度优先(depth-first)搜索法；

## 用数组实现栈的模拟

1. 定义一个top来表示栈顶，初始化为-1；
2. 入栈：有数据加入到栈，top++;stack[top]=data;
3. 出栈：value=stack[top];top--;

## 栈实现计算器：

1. 通过一个index来遍历需要计算的表达式；
2. 如果是一个数字则直接入数栈；
3. 如果是一个符号则分情况考虑：
4. 如果当前符号栈为空，则可以直接入栈；
5. 如果符号栈不为空，则进行比较：

如果当前的操作符优先级小于于或者等于栈中的操作符(\* /操作大于+-)，就需要去数栈中pop出两个数字；

如果当前的操作符优先级大于栈中的操作符，就直接放入符号栈；

1. 扫描件完毕，就顺序从数栈和符号栈pop相应数和操作符并运行；
2. 最后数栈中只有一个数字，就是计算结果；

# 前缀、中缀、后缀表达式（逆波兰拨打时）

## 前缀表达式(波兰表达式)

前缀表达式的运算符位于操作数之前；

EG：(3+4)\*5-6 对应的前缀表达式是 - \* + 3 4 5 6

从右至左扫描表达式，遇到数字压入栈堆，遇到运算符时，弹出栈顶的两个数，用运算符对它们做相应的计算(栈顶元素和次顶的元素)，并将结果入栈：重复上述过程指导表达式的最左端，最后计算的值即为表达式的结果；

## 中缀表达式

中缀表达式就是常见的运算表达式，如(3+4)\*5-6

中缀表达式对计算机不好操作，一般转为后缀表达式进行计算；

## 后缀表达式(逆波兰表达式)

运算符位于操作数之后

EG：(3+4)\*5-6 对应的后缀表达式是 3 4 + 5 \* 6 -

从左至右扫描表达式，遇到数字时，将数字压入栈，遇到运算符时，弹出栈顶的两个数，用运算符对它们做相应的运算（次顶元素和栈顶元素），并将结果入栈；重复上述操作直到最右端；

## 中缀表达式转换为后缀表达式

1. 初始化两个栈，运算符栈s1和存储中间计算结果的栈s2；
2. 从左至右扫描中缀表达式；
3. 遇到操作数时，将其压入s2；
4. 遇到运算符时，比较其与s1栈顶运算符的优先级(可以用一个enum来做个int的优先级映射)：
5. 若s1为空，或者栈顶运算符为左括号(,则直接将此运算符入栈；
6. 若优先级比栈顶运算符的高，也将运算符压入s1；(只有高才执行，同级不执行)
7. 否则将s1栈顶的运算符弹出并压入s2中，再次转到4-1步骤中与s1中新的栈顶运算符进行比较；
8. 遇到括号时：
9. 如果是左括号(,则直接压入s1；
10. 如果是右括号),则依次弹出s1栈顶的运算符，并压入s2直到遇到左括号为止，此时将这一对括号丢弃
11. 重复步骤2到5，直到表达式的最右端；
12. 将s1中的运算符依次弹出并压入s2；
13. 依次弹出s2中的元素并输出，结果的逆序即为中缀表达式对应的后缀表达式；

# 递归 recursion

主要理解一下递归调用的执行顺序

## 递归调用规则

1. 执行一个方法时，就创建一个新的受保护的独立空间(栈空间)；
2. 方法的局部变量是独立的，不会相互影响；
3. 如果方法中使用的是引用变量，就会共享改引用类型的数据；
4. 递归必须向退出递归的条件逼近，否则就会无限递归，出现StackOverflowError;
5. 当一个方法执行完毕，或遇到return就会返回，遵守谁调用结果归谁，同时方法执行完毕或返回时，该方法也就执行完毕；

## 递归的常见应用场景

1. 各种数学问题，eg：8皇后问题、汉诺塔、阶乘、迷宫问题、数独、球和篮子问题；
2. 各种算法：快排、归并排序、二分查找、分治算法等；
3. 将用栈解决问题递归的代码更简洁；
4. 迷宫寻址问题：

这部分查看代码

1. 八皇后问题

前后左右和相邻的对角线不能放置两个皇后，不能放在同一行，同一列，相同斜线上 ；

PS：这个解题思路和数独很像

1. 第一个皇后放在第一行第一列；
2. 第二个皇后放在第二行第一列，然后判断是否ok；若不行依次向后放置；
3. 继续第三个皇后放置在第三行第一列，同上；直到第八个；算是找到了第一个正确的解；
4. 当第一个正确之后，再栈后退至上一个栈，就会开始回溯(就是换个位置看能不能得出新解)，直到得到第一列开始的所有的解；
5. 然后将第一个换后放在第二列，依次执行1 2 3 4，直到获取所有的解；
6. 说明：理论上应创建二维数组表示棋盘，但实际可以一一维数组来解决：

arr \={0,4,7,5,2,6,1,3} //对应arr的下标表示第几行，及第几个皇后

arr[i]=val val表示第i+1个皇后，放在了第i+1行的val+1列；

{0,4,7,5,2,6,1,3} 表示第一个皇后放在第一行 0+1列，第二个：第二行4+1列...

# 时间复杂度和空间复杂度

排序的分类：

1. 内部排序：将需要处理的所有数据都加载到内部存储器中进行排序；

内部排序细分为:

1. 插入排序：直接插入排序；希尔排序；
2. 选择排序：简单选择排序；堆排序；
3. 交换排序：冒泡排序；快速排序‘
4. 归并排序；
5. 基数排序；’
6. 外部排序：数据量很大，无法全部加载到内存中，需要借助外部存储进行排序；

## 时间复杂度

度量一个算法执行时间

1. 时间频度

一个算法花费的时间与算法中语句的执行次数成正比例；

一个算法中语句执行此时称为语句频度或者时间频度。记为T(n);

时间频度忽略常数项、低次项、系数；

1. 时间复杂度的概念：
2. 一般情况下，算法中的基本操作语句的重复执行次数是问题规模n的某个函数，用T(n)表示；若有辅助函数f(n)使得当n趋近于无穷大时，T(n)/f(n)的极限值为不等于0的常数，则称f(n)是T(n)的同数量级函数。记作T(n)=O(f(n))，称O(f(n))为算法的渐进时间复杂度，简称时间复杂度；
3. T(n)不同，但是时间复杂度可能相同，eg：T(n)=n2+7n+6与T(n)=3n2+2n+2,但时间复杂度是一样的，都记为O(n2);这里的f(n)= n2;

忽略常数项、低次项、系数；

1. 计算时间复杂度的方法：

用常数1代替运行时间中的所有加法运算；

修改后 的运行次数函数中，只保留最高阶项；

去除最高阶项的系数；

1. 常见的时间复杂度：

执行次数与条件n的关系

1. 常数阶O(1);

没有循环，eg:i+j；

1. 对数阶O(log2n);

比如：

**int** i = **1**;  
**while** (i<n){i = i \* **2**;}

假设执行m次之后推出，执行次数的方程：2m=n 🡪 m = log2n

所以时间复杂度记为O(log2n);

1. 线性阶O(n)；

单层的for循环，i<n；i++

for循环里面的代码会执行n次；

1. 线性对数阶O(nlog2n)；

时间复杂度为O(log2n)循环n遍，比如for循环里面放的是上述的while循环；

1. 平方阶O(n2)；

双层for循环；

1. 立方阶O(n3)；
2. K次方阶O(nk)；
3. 指数阶O(2n);

上述时间复杂度从小到大；时间复杂度应该越低越好，效率越高 ；

1. 平均时间复杂度和最坏时间复杂度：
2. 平均时间复杂度是指所有可能的输入实例均以等概率出现的情况下，该算法的运行时间。
3. 最坏情况下的时间复杂度称最坏时间复杂度。一般讨论的时间复杂度均是最坏情况下的时间复杂度。 这样做的原因是：最坏情况下的时间复杂度是算法在任何输入实例上运行时间的界限，这就保证了算法的运行时间不会比最坏情况更长。
4. 平均时间复杂度和最坏时间复杂度是否一致，和算法有关(如上图)

## 空间复杂度

1. 一个算法的空间复杂度(Space Complexity)定义为该算法所耗费的存储空间，它也是问题规模n的函数。
2. 空间复杂度(Space Complexity)是对一个算法在运行过程中临时占用存储空间大小的量度。有的算法需要占用的临时工作单元数与解决问题的规模n有关，它随着n的增大而增大，当n较大时，将占用较多的存储单元，例如快速排序和归并排序算法就属于这种情况;
3. 在做算法分析时，主要讨论的是时间复杂度。从用户使用体验上看，更看重的程序执行的速度。一些缓存产品(redis, memcache)和算法(基数排序)本质就是用空间换时间;

# 排序算法

## 冒泡排序：

通过对待排序序列从前向后(从下表较小的元素开始)，依次比较相邻元素的值，发现逆序则交换，是值较大的元素从前移植后部；

PS：因为排序的过程中，各元素不断接近自己的位置，若一趟比较下来没有进行排序，则说明有序，可以设置一个标志flag来判断是否进行了排序，从而减小不必要的比较；

**private static void** bubbleTeacher(){  
 **boolean** flag = **false**;  
 **for** (**int** i=**0**;i<*array*.length-**1**;i++){  
 **for** (**int** j = **0**; j < *array*.length-**1**-i; j++) {  
 **if** (*array*[j] < *array*[j+**1**]){  
 flag = **true**;  
 **int** temp = *array*[j];  
 *array*[j] = *array*[j+**1**];  
 *array*[j+**1**] = temp;  
 }  
 }  
 **if** (!flag){ **break**; } **else** { flag = **false**; }  
 }  
 }

## 选择排序 select sort

选择排序是从欲排序的数据中，按照指定的规则选出某一元素，再依规定交换位置后达到排序的目的；

基本思路：

第一次从arr[0]到arr[n-1]中选取最小值，与arr[0]进行交换；

第二次从arr[1]到arr[n-1]中选取最小值，与arr[1]进行交换；

依次类推...

第n-1次从arr[n-2]到arr[n-1]中选取最小值，与arr[n-2]进行交换；

总共n-1次；

说明：

1. 一共有length-1轮排序；
2. 每一轮排序，又是一个循环：

先假定这个数是最小数；

然后和后面比较，如果有更小的则获取最小数并记录下标；

当遍历到数组最后时，得到本轮的最小数和下标，交换arr[i]和arr[index]；

**private void** selectSort(){  
 **for** (**int** i=**0**;i<*array*.length;i++){  
 **int** min = *array*[i];  
 **int** index = i;  
 **for** (**int** j = i+**1**; j < *array*.length; j++) {  
 **if** (min > *array*[j]){  
 min = *array*[j];  
 index = j;  
 }  
 }  
 **if**(index != i){  
 **int** temp = *array*[i];  
 *array*[i] = min;  
 *array*[index] = temp;  
 }  
 }  
}

## 插入排序 insertion sort

基本思想：

把n个待排序的元素看成是一个有序表和无序表，开始时有序表只有一个元素，无序表中有n你-1个元素，排序过程实每次从无序表中取出一个元素，把他的排序码依次与有序表中的排序码进行比较，将他插入合适的位置，使之成为新的有序表；

insertVal = arr[i];  
insertIndex = i - **1**;

**while** (insertIndex >= **0** && insertVal < arr[insertIndex]) {  
 arr[insertIndex + **1**] = arr[insertIndex];// arr[insertIndex]  
 insertIndex--;  
}

//比较完成

**if**(insertIndex + **1** != i) {  
 arr[insertIndex + **1**] = insertVal;  
}

进入当前循环的说明满足两个条件：

insertIndex >= **0** && insertVal < arr[insertIndex]，这里可以理解为：

先记录下待比较的数的值，和他前边数(已经有序)的index，比较时若满足条件，就把后者赋给待比较数这个位置，依次满足条件后移，直到index=0或者当前数已经比待比较数小，跳出循环，insertIndex--用于记录数组索引前移了几次；

**private static void** myInsert(){  
 //arr[0]默认可以看做是有序列表  
 **for** (**int** i = **1**; i < *array*.length; i++) {  
 **int** compareValue = *array*[i];  
 //因为当前数与他前面的数进行比较并用于记录当前比较的索引  
 **int** compareIndex = i-**1**;  
 **while** (compareIndex >=**0** && compareValue < *array*[compareIndex]){  
 //把后面的数依次前移 最前面的数已经被记录了所以不用交换  
 *array*[compareIndex + **1**] = *array*[compareIndex];  
 compareIndex--;  
 System.*out*.println(Arrays.*toString*(*array*));  
 }  
 **if** (i != compareIndex + **1**){  
 *array*[compareIndex + **1**] = compareValue;  
 }  
 }  
}

## 希尔(shell)排序

插入排序存在的问题：当最后一个数很小时，必须后移很多次，影响效率；

shell排序也是一种插入排序，是对插入排序的一种优化，也称为缩小增量排序；

基本思想：

希尔排序是把记录按照下标的一定增量分组，对每组使用直接插入排序算法排序，随着增量逐渐减少，每组包含的关键词越来越少，当增量减至一时，整个文件恰好分为一组，排序终止；

PS：仔细思考第二组for的作用

1. 交换法：

第一个for的作用是分组；

里面的代码执行的就是冒泡排序；

所以交换法效率较低



**private static void** shell(){  
 **for** (**int** gap = *array*.length / **2**; gap > **0**; gap = gap / **2**) {  
 //在分组里面进行了冒泡排序  
 **for** (**int** i = gap; i < *array*.length; i++) {  
 **for** (**int** j = i-gap; j >= **0**; j-=gap) {  
 **if** (*array*[j] > *array*[j+gap]){  
 **int** temp = *array*[j];  
 *array*[j] = *array*[j+gap];  
 *array*[j+gap] = temp;  
 }  
 }  
 }  
 }  
}

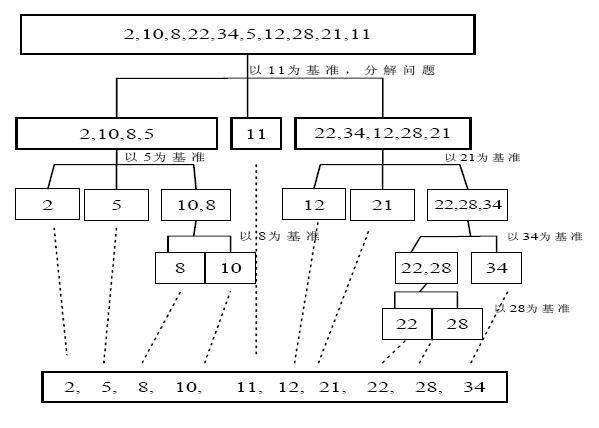
1. 移动法：

就是对所在的分组进行插入排序

**private static void** shellInsert(){  
 **for** (**int** gap = *array*.length/ **2**; gap > **0**; gap = gap / **2**) {  
 **for** (**int** i = gap; i < *array*.length; i++) {  
 **int** j = i;  
 **int** temp = *array*[j];  
 **while** (j-gap>=**0** && temp < *array*[j-gap]){  
 //当前arr[j-gap]移动导[j]  
 *array*[j] = *array*[j-gap];  
 j -= gap;  
 }  
 *array*[j] = temp;  
 }  
 }  
   
}

## 快速排序：

快速排序是对冒泡排序的一种改进。基本思想：通过一趟排序将要排序的数据分割成独立的两部分，其中一部分的所有数据都比另外一部分的所有数据都要小，然后再按此方法对这两部分的数据进行快速排序，整个排序过程可以递归进行，一次达到整个数据变成有序序列；

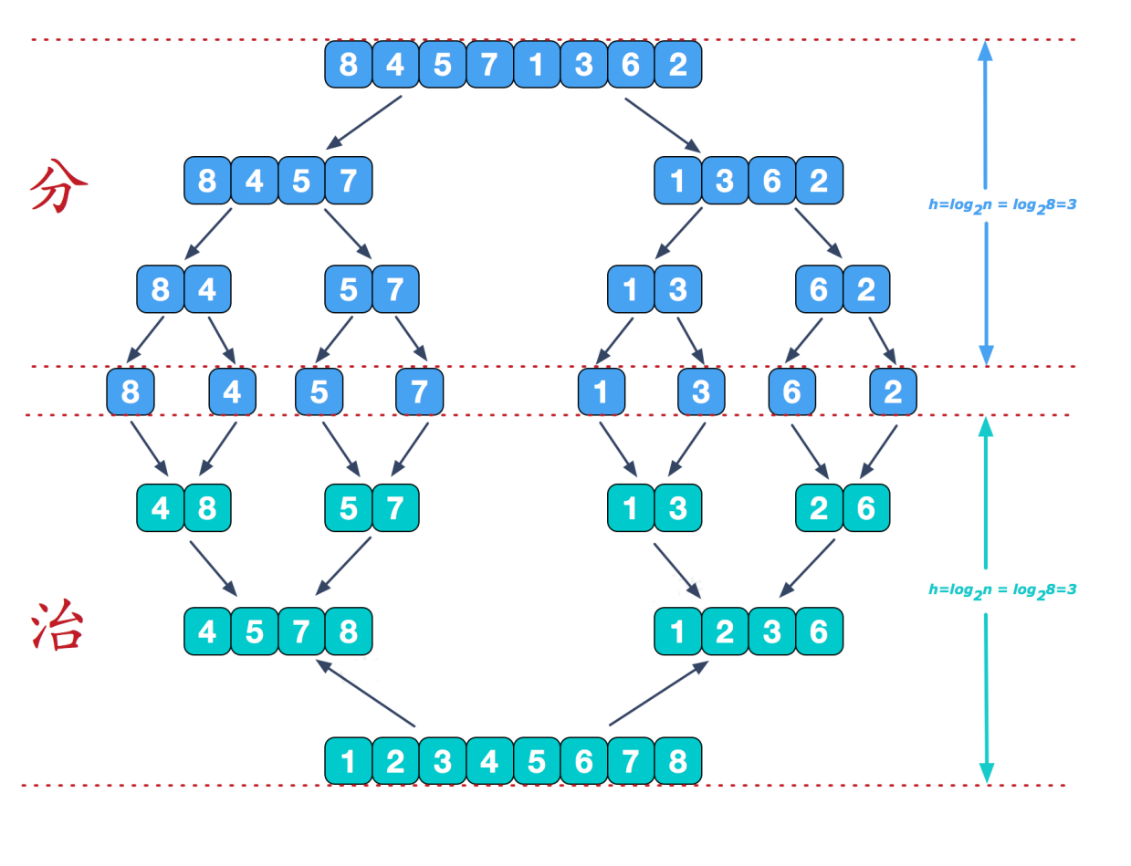


**private static void** quick(**int**[] array,**int** left,**int** right){  
 **int** l = left;  
 **int** r = right;  
 //中轴值 两侧与此值进行比较  
 **int** pivot = array[(left+right)/**2**];  
 //while循环的目的是将比pivot小的放在其左边，大的放右边  
 **while** (l<r){  
 //在pivot左边找>=pivot 并不一定是index也比其小  
 **while** (array[l] < pivot){ l+=**1**;}  
 //在pivot左边找<=pivot 跳出循环  
 **while** (array[r] > pivot){ r-=**1**; }  
 //l>=r说明pivot两侧的值已经排好了  
 **if** (l>=r) **break**;  
 //交换两者的值  
 **int** temp = array[l];  
 array[l] = array[r];  
 array[r] = temp;  
 //交换玩之后发现array[l] == pivot r-- 前移  
 **if** (array[l] == pivot) r-=**1**;  
 //交换玩之后发现array[r] == pivot l++ 后移  
 **if** (array[l] == pivot) l+=**1** ;  
 }  
  
 **if** (l==r){  
 l+=**1**;r-=**1**;  
 }  
 //向左递归  
 **if** (left<r){  
 *quick*(array,left,r);  
 }  
  
 //向右递归  
 **if** (right > l){  
 *quick*(array,l,right);  
 }  
   
}

## 归并排序 merge sort

归并排序是利用归并的思想实现的排序方法，采用了分治策略(divide-and-conquer)策略；

分治法是问题分divide成一些小问题，然后递归求解，而治conquer的阶段则是将分的阶段得到的各答案修补在一起，即分而治之；



**private static void** mergeSort(**int**[] array,**int** left,**int** right,**int**[] temp){  
 **if** (left < right){  
 **int** middle = (left+right)/**2**;  
 //向左递归拆解  
 *mergeSort*(array,left,middle,temp);  
 //向右递归拆解  
 *mergeSort*(array,middle+**1**,right,temp);  
 //合并  
 *merge*(array,left,middle,right,temp);  
 }  
}  
/\*\*  
 \* 先写归并的方法 先写治  
 \* @param *array* 待排序数组  
 \* @param *left* 左边有序数列的初始索引  
 \* @param *middle* 中间位置  
 \* @param *right* 右边有序数列的最右侧索引  
 \* @param *temp* 临时数组 搬到这里  
 \*/  
**private static void** merge(**int**[] array,**int** left,**int** middle,**int** right,**int**[] temp){  
 **int** i =left;  
 **int** j = middle + **1**; //右边的起始索引  
 **int** t = **0**;//temp的索引记录  
 /\* 第一步  
 \* 先把左右两边(已经有序)的数组按照规则填充到temp数组  
 \* 直到左右两边其中一边移动完成 (则另一边剩余的也是有序排列的)  
 \*/  
 **while** (i <= middle && j <= right){  
 **if** (array[i] <= array[j]){  
 //只用搬就行  
 temp[t] = array[i];  
 t++;  
 i++;  
 } **else** {  
 temp[t] = array[j];  
 t++;  
 j++;  
 }  
 }  
 /\* 第二步  
 \* 左边有剩余  
 \*/  
 **while** (i<=middle){  
 temp[t] = array[i];  
 t++;  
 i++;  
 }  
 /\* 第二步  
 \* 或者右边有剩余  
 \*/  
 **while** (j<=right){  
 temp[t] = array[j];  
 t++;  
 j++;  
 }  
 /\* 第三步  
 \* 将temp copy到array  
 \* 注意 此处并不是全部都需要copy  
 \*/  
 t=**0**;  
 **int** tempLeft = left;  
 **while**(tempLeft <= right) {  
 array[tempLeft] = temp[t];  
 t++;  
 tempLeft++;  
 }  
}

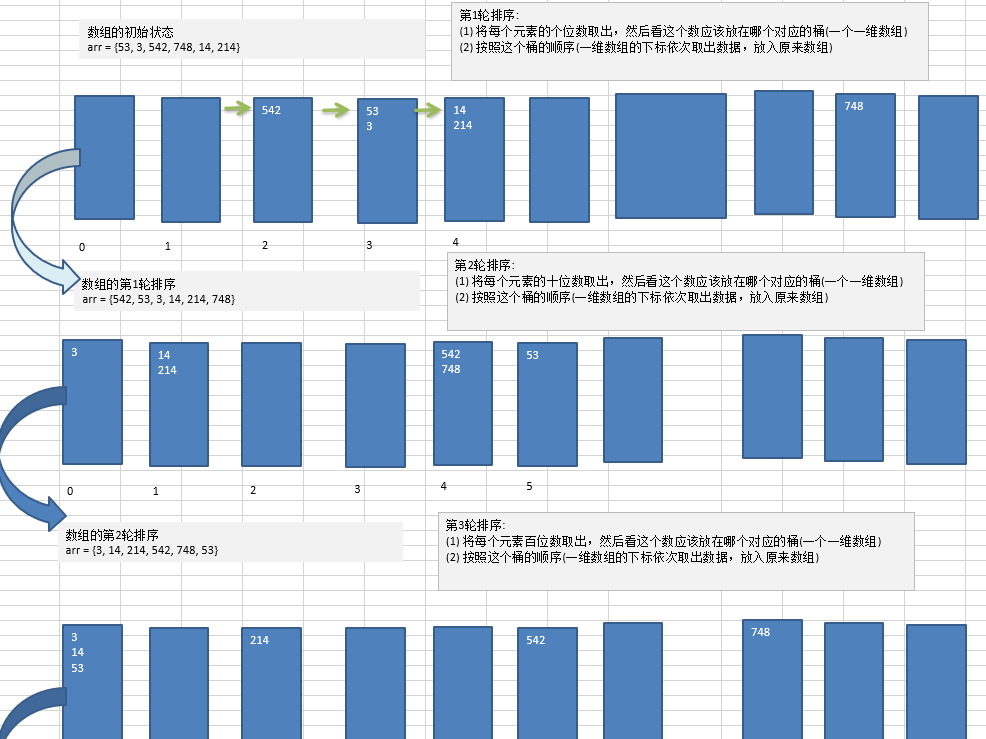
## 基数排序 raidx sort

1. 基数排序属于分配式排序(distribution sort)，又称桶子法，他是通过键值的各个位的值，将要排序的元素分配只某些桶中，达到排序的目的；
2. 基数排序是属于稳定性的排序，基数排序法是效率高的稳定性排序法；
3. 实现原理：将整数按位数切割成不同的数字，然后按照每个位数分别进行比较；

基本思想：

将所有带比较的数值统一为同样的数位长度，数位较短的前面补0，然后从低位开始，依次进行依次排序。

这样从最底位排序一直到最高位排序完成以后变成了一个有序序列；



基数排序的一些问题：

1. 基数排序是对桶排序的扩展，速度很快；
2. 基数排序是以空间换时间，占用内存很大(新开了很多数组)，数据量超大时可能OutOfMemoryError;
3. 基数排序是稳定的；

排序稳定性介绍：

假定待排序的记录序列中，存在多个而具有相同关键字的记录，若经过排序，这些记录的相对次序保持不变，即在原次序中，r[i]=r[j],且i在j之前，而在排序后的序列中，r[i]仍在r[j]之前；则称这种算法是稳定的，反之成为不稳定的；

**private static void** radixSort(**int**[] array){  
 //设置10个桶  
 **int**[][] bucket = **new int**[**10**][array.length];  
 //记录各个桶放置几个有效数字  
 **int**[] bucketSize = **new int**[**10**];  
 **int** max = **0**;  
 **for** (**int** a:array){  
 **if** (max < a) max = a;  
 }  
 **int** maxSize = (max + **""**).length();  
 **for** (**int** i=**0**,n=**1**;i<maxSize;i++,n=n\***10**){  
 **for** (**int** a:array){  
 //这一步存数是重点  
 **int** digital = a / n % **10**;  
 bucket[digital][bucketSize[digital]] = a;  
 bucketSize[digital]++;  
 }  
 //将桶中的元素一次取出  
 **int** index = **0**;  
 **for** (**int** k = **0**; k < **10**; k++) {  
 **int** size = bucketSize[k];  
 **if** (size > **0**){  
 **for** (**int** j = **0**; j < size; j++) {  
 array[index++] = bucket[k][j];  
 }  
 }  
 //这一步必须清除为0 防止后面被重复取  
 //而bucket不需要清除 应为只要bucketSize[i]==0就不用去对应的桶中取数据  
 bucketSize[k] = **0**;  
 }  
 }  
}

# 排序算法的相关术语

1. 稳定：如果a在b前面，而a=b，排序之后a仍然在b的前面；
2. 不稳定：如果a在b前面，而a=b，排序之后a不一定在b的前面；
3. 内排序：所有排序操作都在内存中；
4. 外排序：由于数据量太大，需要将数据放在磁盘中，通过磁盘和内存实现排序；
5. 时间复杂度：一个算法所需要消耗的时间；
6. 空间复杂度：一个算法所需要消耗的内存；
7. In-space:不占用额外的内存；
8. Out-space：占用额外的内存；



# 查找算法

常用的查找方法有四种：

1. 顺序（线性）查找；
2. 二分查找/折半查找；
3. 插值查找；
4. 斐波那契查找；

## 线性查找

就是遍历然后查找到对应的值和下标；

没找到返回-1；

## 二分查找

二分查找只能是对有序数组的查找；

思路分析：

1. 首先确定数组中间的下标mid=(left+right)/2；
2. 然后对比待查找的值findVal与array[mid]的大小比较：

2.1. findVal > array[mid]，说明要往右边找；

2.2. findVal < array[mid]，说明要往左边找；

2.3. findVal = array[mid]，查找；

1. 递归的结束条件：
   1. 找到了对应的值；
   2. 未找到：则left > right退出；

但是这种算法存在如果有多个满足条件的值中的一个

**int** binary(**int**[] array, **int** left, **int** right, **int** find) {  
 **int** middle = (left + right) / **2**;  
 **if** (left > right) {  
 **return** -**1**;  
 }  
 //对left和right值要做相应的移动  
 //因为middle已经参与过比较，所以不需要重复，对其+-1即可  
 **if** (array[middle] == find) {  
 **return** middle;  
 } **else if** (array[middle] > find) {  
 **return** *binary*(array, left, middle-**1**, find);  
 } **else** {  
 **return** *binary*(array, middle+**1**, right, find);  
 }  
   
}

找到所有满足条件的值

/\*\*  
 \* 找到所有满足条件的值  
 \* 找到后想左/右分别进行扫描，满足则加入下标  
 \*/  
List<Integer> fiandAll(**int**[] array,**int** left,**int** right,**int** find){  
 List<Integer> indeies = **new** ArrayList<>();  
 **int** middle = (left + right) / **2**;  
 **if** (left > right) {  
 **return** indeies;  
 }  
 //对left和right值要做相应的移动  
 //因为middle已经参与过比较，所以不需要重复，对其+-1即可  
 **if** (array[middle] == find) {  
 indeies.add(middle);  
 **int** index = **1**;  
 **while** (array[middle - index] == find && middle-index>=**0**) {  
 indeies.add(middle - (index++));  
 }  
 index = **1**;  
 **while** (array[middle+index]==find&&middle+index<array.length){  
 indeies.add(middle + (index++));  
 }  
 **return** indeies;  
 } **else if** (array[middle] > find) {  
 **return** *fiandAll*(array, left, middle-**1**, find);  
 } **else** {  
 **return** *fiandAll*(array, middle+**1**, right, find);  
 }  
}

## 插值查找

1. 插值查找算法类似于二分查找，不同的是插值查找每次从自适应mid处开始查找。
2. 将折半查找中的求mid 索引的公式,low 表示左边索引left, high表示右边索引right;



等差数列 ... 根据差值与index差值的比例来确定每次查找的区间；

代码同二分查找，只是确定的middle不一样；

退出条件：

**if** (left > right || find < array[**0**] || find > array[array.length-**1**]) {  
 **return** indeies;  
}

注意事项：

1. 对于数据量大、关键字分布比较均匀的查找，采用差值查找较快；
2. 对于分布不均匀，不一定比二分查找更快；

## 斐波那契(黄金分割法)查找算法

同二分查找，只是更改了middle的位置，是其位于黄金分割的位置：

middle=low+F(k-1)-1; F(k-1) - 表示斐波那契数列

对F(k-1)的理解：

1. 由斐波那契数列 F[k]=F[k-1]+F[k-2] 的性质，可以得到 （F[k]-1）=（F[k-1]-1）+（F[k-2]-1）+1 。该式说明：只要顺序表的长度为F[k]-1，则可以将该表分成长度为F[k-1]-1和F[k-2]-1的两段，即如上图所示。从而中间位置为mid=low+F(k-1)-1;
2. 类似的，每一子段也可以用相同的方式分割
3. 但顺序表长度n不一定刚好等于F[k]-1，所以需要将原来的顺序表长度n增加至F[k]-1。这里的k值只要能使得F[k]-1恰好大于或等于n即可，由以下代码得到,顺序表长度增加后，新增的位置（从n+1到F[k]-1位置），都赋为n位置的值即可。

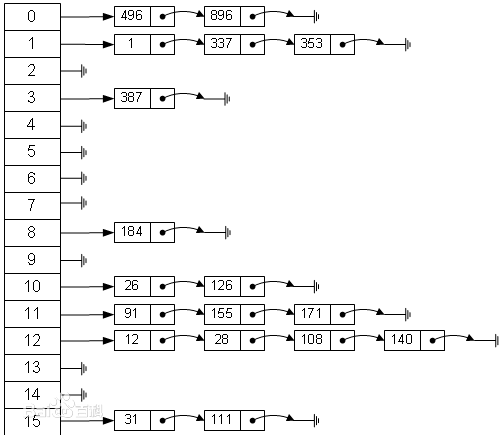
**private static int** fiboSearch(**int**[] array,**int** key){  
 **int** low = **0**;**int** high = array.length - **1**;  
 **int** k = **0**;**int** middle;  
 **int**[] fibo = *fibo*();  
   
 // 获取满足条件的斐波那契数列的下标  
 // high <= fibo[k] -1 才满足条件找到下标  
 **while** (high > fibo[k] -**1**){  
 k++;  
 }  
   
 //因为fibo[k]的值可能大于array的长度，需要补长原有的array  
 //不足的部分用0填充  
 **int**[] temp = Arrays.*copyOf*(array,fibo[k]);  
 **for** (**int** i = high+**1**;i<temp.length;i++){  
 temp[i] = array[high];//用最大值来填充数组  
 }  
   
 //开始查找  
 **while** (low <= high){  
 middle = low + fibo[k-**1**] - **1**;  
 **if** (key < temp[middle]){  
 high = middle - **1**;  
 //全部元素 = 前面的元素 + 后边元素  
 //f[k] = f[k-1] + f[k-2]  
 //因为 前面有 f[k-1]个元素,所以可以继续拆分 f[k-1] = f[k-2] + f[k-3]  
 //即 在 f[k-1] 的前面继续查找 k--  
 //即下次循环 mid = f[k-1-1]-1  
 k--;  
 } **else if** (key > temp[middle]) {  
 low = middle + **1**;  
 //全部元素 = 前面的元素 + 后边元素  
 //f[k] = f[k-1] + f[k-2]  
 //因为后面我们有f[k-2] 所以可以继续拆分 f[k-1] = f[k-3] + f[k-4]  
 //即在f[k-2] 的前面进行查找 k -=2  
 //即下次循环 mid = f[k - 1 - 2] - 1  
 k-=**2**;  
 } **else** {  
 //需要确定，返回的是哪个下标  
 **if**(middle <= high) {  
 **return** middle;  
 } **else** {  
 **return** high;  
 }  
 }  
 }  
 **return** -**1**;  
}

# 哈希表和内存布局

需求举例：新员工入职，加入信息（id，姓名，。。。等），输入id获取全部信息；不使用数据库；节省内存，越快越好 🡪 HASH

## HASH表的介绍

散列表(hash table)是根据关键码值(key value)而直接访问的数据结构；

也就是说它是通过把关键码值映射到表中的一个位置来访问记录，以加快查找的速度。这个映射函数成为散列函数；存放记录的**数组**叫做散列表，或哈希表；

数组 + 链表

数组里面放的是链表

查找对应链表时可以根据它的hash / length-1(模就是0-length-1 共length个)来快速获取其所在位置；

EG：使用hash管理雇员信息

三个类：  
 \* 散列函数  
**public class** HashTable {  
 **private static final int** *SIZE* = **7**;  
 //还要对数组初始化 要不空指针  
 **private** EmployerLinkList[] linkList;  
 **public** HashTable() {  
 linkList = **new** EmployerLinkList[*SIZE*];  
 **for** (**int** i = **0**; i < *SIZE*; i++) {  
 linkList[i] = **new** EmployerLinkList();  
 }  
 }  
 //根据id取模来放置  
 **public void** add(Employee emp) {  
 **int** index = emp.id % *SIZE*;  
 Employee byId = findById(emp.id);  
 **if** (byId != **null**) {  
 System.*out*.println(**"当前员工号 "** + emp.id + **"已存在"**);  
 **return**;  
 }  
 EmployerLinkList employerLinkList = linkList[index];  
 employerLinkList.add(emp);  
 }  
}

**public class** EmployerLinkList {  
 //此处头指针是有效，是该链表的第一个Employee  
 **private** Employee head;  
 //假定传进来的id是自增长的  
 **public void** add(Employee emp) {  
 **if** (head == **null**) {  
 //是第一个  
 head = emp;  
 **return**;  
 }  
 Employee temp = head;  
 **while** (temp.next != **null**) {  
 temp = temp.next;  
 }  
 temp.next = emp;  
 }  
}

**class** Employee{  
 **int** id;  
 String name;  
 Employee next;  
}

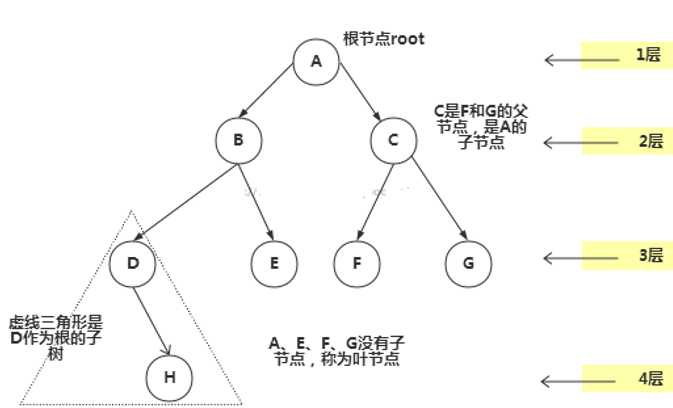
# 二叉树

## 为什么要用树结构

1. 数组存储方式  
   优点：通过下标方式访问元素，速度快。对于有序数组，还可使用二分查找提高检索速度。  
   缺点：如果要检索具体某个值，或者插入值(按一定顺序)会整体移动，效率较低;
2. 链式存储方式的分析  
   优点：在一定程度上对数组存储方式有优化(比如：插入一个数值节点，只需要将插入节点，链接到链表中即可，删除效率也很好)。  
   缺点：在进行检索时，效率仍然较低，比如(检索某个值，需要从头节点开始遍历)
3. 树存储方式的分析:

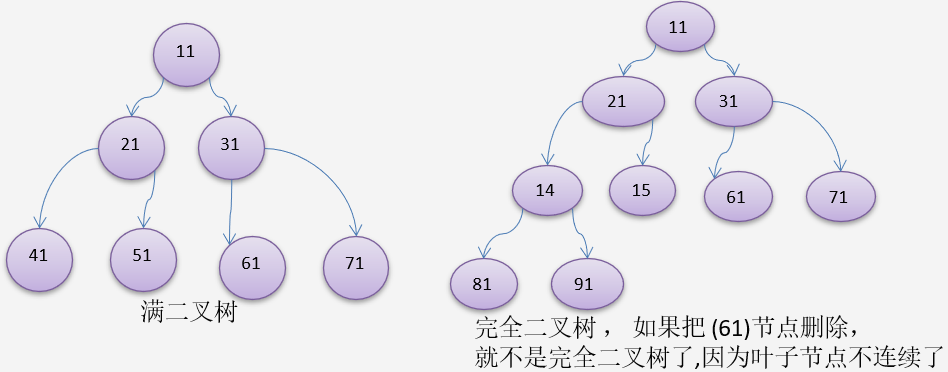
能提高数据存储，读取的效率, 比如利用 二叉排序树(Binary Sort Tree)，既可以保证数据的检索速度，同时也可以保证数据的插入，删除，修改的速度

## 树的基本概念

1. 节点
2. 根节点
3. 父节点
4. 子节点
5. 叶子节点(没有子节点的节点)
6. 节点的权(节点值)
7. 路径(从root到该节点路线)
8. 层
9. 子树
10. 树的高度(最大层数)
11. 森林：多颗子树构成

## 二叉树的概念

1. 每个节点最多只能有两个子节点的一种树成为二叉树；
2. 二叉树的子节点分为左节点、右节点；
3. 如果二叉树所有叶子节点都在最后一侧，节点总数为2n-1，n为层数，成为满二叉树；
4. 如果该二叉树的所有叶子节点都在最后一层或者倒数第二层，而且最后一层的叶子节点在左边连续，倒数第二层的叶子节点在右边连续，我们称为完全二叉树；



## 二叉树的遍历

分为前序遍历、中序遍历和后序遍历；

都是先左后右，System.*out*.println(**this**);的位置取决于前中后序遍历；

看输出父节点的顺序，就确定是前序，中序还是后序；

1. 前序遍历:

先输出父节点，再遍历左子树和右子树

1. 先输出当前节点(初始的时候是root节点)；
2. 如果左子节点不为空，则递归继续前序遍历；
3. 如果右子节点不为空，则递归继续前序遍历；

**public void** preOrderIterator(){  
 System.*out*.println(**this**);  
 //递归向左遍历  
 **if** (**this**.left != **null**){  
 **this**.left.preOrderIterator();  
 }  
 //递归向右遍历  
 **if** (**this**.right != **null**){  
 **this**.right.preOrderIterator();  
 }  
}

1. 中序遍历:

先遍历左子树，再输出父节点，再遍历右子树

1. 如果当前节点的左子节点不为空，递归中序遍历；
2. 输出当前节点；
3. 如果当前节点的右子节点不为空，递归中序遍历；

**public void** infixOrderIterator(){  
 //递归向左遍历  
 **if** (**this**.left != **null**){  
 **this**.left.infixOrderIterator();  
 }  
 System.*out*.println(**this**);  
 //递归向右遍历  
 **if** (**this**.right != **null**){  
 **this**.right.infixOrderIterator();  
 }  
}

1. 后序遍历:

先遍历左子树，再遍历右子树，最后输出父节点；

1. 如果当前节点的左子节点不为空，递归后序遍历；
2. 如果当前节点的右子节点不为空，递归后序遍历；
3. 输出当前节点；

**public void** rightOrderIterator(){  
 //递归向左遍历  
 **if** (**this**.left != **null**){  
 **this**.left.rightOrderIterator();  
 }  
 //递归向右遍历  
 **if** (**this**.right != **null**){  
 **this**.right.rightOrderIterator();  
 }  
 System.*out*.println(**this**);  
}

## 二叉树的查找

分为前序遍历、中序遍历和后序遍历；

代码实现同遍历；

根据遍历的顺序来判断查找的次数；

1. 前序查找:
2. 先判断当前节点的值是否等于要查找；
3. 如果相等，则返回当前节点；
4. 如果不等，则判断当前节点的左子节点是否为空，不为空则递归前序查找；
5. 左子节点中若未找到，则判断当前节点的右子节点是否为空，不为空则向右递归查找；
6. 中序查找
7. 判断当前节点的左子节点是否为空，不为空则递归中序查找；
8. 如果找到，则返回；如果没有找到，就和当前节点比较，如果相等，返回当前节点；
9. 否则再右子节点递归中序查找，找到就返回，反之返回null；

**public** HeroNode infixOrderSearch(**int** no){   
 //递归向左遍历  
 HeroNode heroNode = **null**;  
 **if** (**this**.left != **null**){   
 heroNode = **this**.left.infixOrderSearch(no);  
 }

**//此处这个判断必须加 要不然在左子找到了 没有返回又在右支查了一下 返回了null 则最后还是返回为null**

**//其他查找同理**  
 **if** (heroNode != **null**){  
 **return** heroNode;  
 }  
 **if** (**this**.no == no){  
 **return this**;  
 }  
 //递归向右遍历  
 **if** (**this**.right != **null**){   
 heroNode = **this**.right.infixOrderSearch(no);  
 }  
 **return** heroNode;  
}

1. 后序查找
2. 判断当前节点的左子节点是否为空，不为空则递归后序查找；
3. 如果找到，则返回；否则再右子节点递归中序查找，找到就返回；
4. 和当前节点比较，是则返回，反之返回null;

## 二叉树删除节点

1. 简单删除

规定：

1） 如果是叶子节点，则直接删除；

2） 如果是非叶子节点，则删除该子树；

思路：

1. 因为二叉树是单向的，所以需要判断的是当前节点的子节点是否需要删除，而不能去判断当前节点是否需要删除；

因为当前节点设为null也没用，需要将其父节点对应的左/右子节点设为null；

1. 首先要判断root节点是否是待删除节点，是则将其置为null；
2. 如果当前节点的左子节点不为空，并且左子节点是要删除的节点，则**this**.left = **null**；并结束递归返回；
3. 如果当前节点的右子节点不为空，并且右子节点是要删除的节点，则**this**.right = **null**；并结束递归返回；
4. 如果3) 4)没有找到删除的节点，判断左子树不为null，则向左子树递归删除；
5. 如果5)没有找到删除的节点，就需要判断右子树不为null，则向右子树递归删除；

在BinaryTree中：

**public boolean** preOrderDelete(**int** no){  
 **if** (root == **null**){  
 System.*out*.println(**"该二叉树为空"**);  
 **return false**;  
 }  
 **if** (**this**.root.getNo() == no){  
 **this**.root = **null**;  
 **return true**;  
 }  
 **return this**.root.preOrderDelete(no);  
}

在HeroNode类：

**public boolean** preOrderDelete(**int** no){  
 **boolean** isDelete = **false**;  
 **if** (**this**.left != **null** && **this**.left.no == no){  
 **this**.left = **null**;  
 **return true**;  
 } **else if** (**this**.right != **null** && **this**.right.no == no){  
 **this**.right = **null**;  
 **return true**;  
 }  
 **if** (**this**.left != **null**){  
 isDelete = **this**.left.preOrderDelete(no);  
 }  
 **if** (isDelete) **return true**;  
   
 **if** (**this**.right != **null**){  
 isDelete = **this**.right.preOrderDelete(no);  
 }  
 **return** isDelete;  
}

## 顺序存储二叉树

1. 基本说明：

从数据存储来看，数组存储方式和树的存储方式是可以相互转换的；

即树可以转换为数组，数组可以转换为树；

应用场景是堆排序；

要求：

1. 右图中的二叉树的节点要求右图的二叉树的结点，要求以数组的方式来存放 arr : [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]；
2. 要求在遍历数组 arr时，仍然可以以前序遍历，中序遍历和后序遍历的方式完成结点的遍历；
3. 顺序存储二叉树的特点：
4. 顺序二叉树通常只考虑完全二叉树；
5. 第n个元素的左子节点为 2 \* n + 1；
6. 第n个元素的右子节点为 2 \* n + 2；
7. 第n个元素的父节点为 (n-1) / 2；
8. n : 表示二叉树中的第几个元素(按0开始编号)；
9. 案例展示

给定数组[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]，要求以二叉树前序遍历：1,2,4,5,3,6,7；

参考前序、中序、后序 只需要交换打印语句的顺序即可；

**class** ArrBinaryTree {  
 **private int**[] arr;//存储数据结点的数组  
 **public** ArrBinaryTree(**int**[] arr) {  
 **this**.arr = arr;  
 }  
 //重载preOrder  
 **public void** preOrder() {  
 **this**.preOrder(**0**);  
 }  
 //编写一个方法，完成顺序存储二叉树的前序遍历  
 **public void** preOrder(**int** index) {  
 //如果数组为空，或者 arr.length = 0  
 **if**(arr == **null** || arr.length == **0**) {  
 System.*out*.println(**"数组为空，不能按照二叉树的前序遍历"**);  
 }  
 //输出当前这个元素  
 System.*out*.println(arr[index]);   
 //向左递归遍历  
 **if**((index \* **2** + **1**) < arr.length) {  
 preOrder(**2** \* index + **1** );  
 }  
 //向右递归遍历  
 **if**((index \* **2** + **2**) < arr.length) {  
 preOrder(**2** \* index + **2**);  
 }  
 }  
}

## 线索化二叉树

1. 线索化二叉树基本介绍
2. n个节点的二叉链表中含有n+1(公式:2n-(n-1) = n+1)个空指针域。

利用二叉链表中的空指针域，存放指向节点在某种遍历次序下的前驱和后继节点的指针（这种附加的指针成为线索）；

1. 这种加上线索的二叉树链表称为线索链表，相应的二叉树成为线索二叉树(Threaded Binary Tree)。
2. 根据线索性质的不同，线索二叉树可分为前序线索二叉树、中序线索二叉树和后序线索二叉树（对应不同的遍历方式）；
3. 一个节点的前一个节点称为前驱节点；
4. 一个节点的后一个节点称为后继节点；