

目 录

第一章	内容介绍和授课方式	1	5.2	八皇后问题	46
1.1	数据结构和算法内容介绍	1	5.2.1	思路分析	46
1.1.1	经典算法面试题	1	5.2.2	代码实现	46
第二章	稀疏 sparsearray 数组和队列	2	第六章	排序算法	48
2.1	稀疏数组	2	6.1	冒泡排序	48
2.1.1	应用场景	2	6.1.1	代码实现	48
2.1.2	稀疏数组的处理方法	2	6.2	选择排序	49
2.1.3	二维数组转稀疏数组	2	6.2.1	代码实现	49
2.1.4	稀疏数组转二维数组	2	6.3	插入排序	50
2.1.5	代码实现	2	6.3.1	代码实现	51
2.2	队列	4	6.4	希尔排序	52
2.2.1	介绍	4	6.4.1	代码实现	52
2.2.2	数组模拟队列	4	6.5	快速排序	54
2.2.3	数组模拟环形队列	6	6.5.1	代码实现	54
2.2.4	环形队列的代码实现	6	6.6	归并排序	55
第三章	链表	9	6.6.1	代码实现	55
3.1	单链表	9	6.7	基数排序	57
3.1.1	代码实现	9	6.7.1	代码实现	57
3.1.2	单链表的面试题	12	6.8	堆排序	58
3.2	双向链表	21	6.8.1	堆	58
3.2.1	特点	21	6.8.2	堆排序的基本思想	58
3.2.2	代码实现	21	6.8.3	批量构造二叉堆	58
3.3	单向环形链表	26	6.8.4	代码实现	59
3.3.1	应用场景-约瑟夫问题	26	第七章	查找相关算法	61
3.3.2	代码实现	26	7.1	顺序查找	61
第四章	栈	30	7.1.1	代码实现	61
4.1	栈的知识	30	7.2	二分查找	61
4.2	栈的应用场景	30	7.2.1	要求	61
4.3	代码实现	30	7.2.2	代码实现	61
4.3.1	思路分析	30	7.3	插值查找算法	64
4.3.2	数组实现	30	7.3.1	注意事项	64
4.3.3	单链表实现	33	7.3.2	代码实现	64
4.4	栈实现综合计算器	36	7.4	斐波那契（黄金分割）查找算法	65
4.4.1	代码实现	36	7.4.1	代码实现	65
4.5	栈应用-逆波兰表达式	39	第八章	哈希表（散列表）hash	67
4.5.1	逆波兰表达式代码的实现	39	8.0.1	散列函数	67
4.5.2	中缀表达式转后缀表达式	41	8.1	代码实现	67
第五章	递归	44	第九章	树	72
5.1	迷宫问题	44	9.1	常用术语	72

9.2	二叉树	72	9.4.3	代码实现	86
9.2.1	二叉树的遍历	72	9.4.4	线索化二叉树的遍历	92
9.2.2	查找指定节点	76			
9.2.3	删除节点	81	第十章	赫夫曼树	93
9.3	顺序存储二叉树	83	10.1	赫夫曼树实例	93
9.3.1	顺序存储二叉树的特点	84	10.2	代码实现	93
9.3.2	代码实现	84	10.3	赫夫曼编码	94
9.4	线索化二叉树	85	10.3.1	数据压缩	95
9.4.1	基本介绍	85	10.3.2	解压缩	99
9.4.2	中序线索二叉树	85	10.3.3	文件的压缩与解压缩	101

第一章 内容介绍和授课方式

1.1 数据结构和算法内容介绍

1.1.1 经典算法面试题

1. 字符串匹配问题：KMP 算法
2. 汉诺塔移动问题：分治思想。
3. 八皇后问题：回溯算法、分治算法。
4. 马踏棋盘：深度优化遍历算法（DFS）+ 贪心算法

第二章 稀疏 sparsearray 数组和队列

2.1 稀疏数组

2.1.1 应用场景

编写的五子棋程序中，有存盘退出和续上盘的功能

该二维数组很多值为默认值 0，记录了很多没有意义的数，使用稀疏数组。

2.1.2 稀疏数组的处理方法

- (1) 第一行记录数组一共有几行几列，有多少个不同的值
- (2) 把具有不同值的元素的行列及值记录在一个小规模的数组中，从而缩小程序的规模。

2.1.3 二维数组转稀疏数组

1. 遍历原始数组，得到有效数据的个数 `sum`。
2. 根据 `sum` 就可以创建稀疏数组 `sparseArr`，其规模为 `int[sum + 1][3]`
3. 稀疏数组的第一行存入原始数组的行数、列数、有效数据个数。
4. 将二维数组的有效数据存入到稀疏数组其余行中。

2.1.4 稀疏数组转二维数组

1. 先读取稀疏数组的首行，根据该数据创建原始数组。
2. 在读取稀疏数组后几行的数据，并赋给原始的二维数组。

2.1.5 代码实现

```
1 package com.atWSN.sparsearray;
2
3 public class SparseArray {
4     public static void main(String[] args) {
5         // 创建一个原始的二维数组 11 * 11
6         // 0表示没有棋子，1表示黑子，2表示蓝子
7         int chessArray1[][] = new int[11][11];
8         chessArray1[1][2] = 1;
9         chessArray1[2][3] = 2;
10        chessArray1[7][8] = 2;
11        System.out.println("原始的二维数组:");
12        for (int[] row: chessArray1) {
13            for (int data: row) {
14                System.out.printf("%d\t", data);
15            }
16            System.out.println();
17        }
18
19        // 把二维数组转为稀疏数组
20        // 1. 遍历二维数组，得到非零数据的个数
21        int sum = 0;
```

```

22     for (int[] row: chessArray1) {
23         for (int data : row) {
24             if (data != 0){
25                 sum++;
26             }
27         }
28     }
29     System.out.println("sum = " + sum);
30
31     //创建对应的稀疏数组
32     int sparseArray[][] = new int[sum + 1][3];
33     sparseArray[0][0] = 11;
34     sparseArray[0][1] = 11;
35     sparseArray[0][2] = sum;
36     int count = 0;
37     for (int i = 0; i < 11; i++) {
38         for (int j = 0; j < 11; j++) {
39             if (chessArray1[i][j] != 0){
40                 count++;
41                 sparseArray[count][0] = i;
42                 sparseArray[count][1] = j;
43                 sparseArray[count][2] = chessArray1[i][j];
44             }
45         }
46     }
47     //输出稀疏数组
48     System.out.println("输出稀疏数组");
49     for (int[] row: sparseArray) {
50         for (int data:row) {
51             System.out.printf("%d\t",data);
52         }
53         System.out.println();
54     }
55     //稀疏数组转二维数组
56     System.out.println("-----");
57     System.out.println("稀疏数组转二维数组:");
58     int chessArray2[][] = new int[sparseArray[0][0]][sparseArray[0][1]];
59     //遍历稀疏数组,把稀疏数组中存的信息还原回去
60     for (int i = 1; i <= sparseArray[0][2]; i++) {
61         chessArray2[sparseArray[i][0]][sparseArray[i][1]] = sparseArray[i][2];
62     }
63
64     for (int[] row: chessArray2) {
65         for (int data : row) {
66             System.out.printf("%d\t",data);
67         }
68         System.out.println();
69     }
70 }
71 }

```

2.2 队列

2.2.1 介绍

队列是一个有序列表，可以使用数组或链表来实现。

遵循先进先出原则

2.2.2 数组模拟队列

入队操作: `addQueue`

1. 尾指针向后移: `rear + 1`，当 `front == rear` 时，队列为空。

2. 若尾指针 `rear` 小于队列的最大下标 `maxSize - 1`，则将数组存入 `rear` 所指的数组元素中，否则无法存入数据。`rear == maxSize - 1` 时，队列满。

```
1 package com.atWSN.queue;
2
3 import java.util.Scanner;
4
5 public class ArrayQueueDemo {
6     public static void main(String[] args) {
7         // 测试
8         ArrayQueue arrayQueue = new ArrayQueue(3);
9         char key = ' '; // 接收用户输入
10        Scanner scanner = new Scanner(System.in);
11        boolean loop = true;
12        while(loop){
13            System.out.println("s(show): 显示队列");
14            System.out.println("e(exit): 退出程序");
15            System.out.println("a(add): 添加数据到队列");
16            System.out.println("g(get): 从队列取出数据");
17            System.out.println("h(head): 查看队列头的数据");
18            key = scanner.next().charAt(0);
19            switch(key){
20                case 'a':
21                    System.out.println("请输入一个数据: ");
22                    arrayQueue.addQueue(scanner.nextInt());
23                    break;
24                case 's':
25                    arrayQueue.showQueue();
26                    break;
27                case 'e':
28                    scanner.close();
29                    loop = false;
30                    System.out.println("程序退出!");
31                    break;
32                case 'g':
33                    try{
34                        int ret = arrayQueue.getQueue();
35                        System.out.println("取出的数据是: " + ret);
36                    } catch (Exception e) {
```

```

37         System.out.println(e.getMessage());
38     }
39     break;
40     case 'h':
41     try{
42         int ret =arrayQueue.headQueue();
43         System.out.println("头部的数据是: " + ret);;
44     }catch(Exception e){
45         System.out.println(e.getMessage());
46     }
47     break;
48     default:
49     break;
50 }
51 }
52 }
53 }
54
55 //使用数组模拟队列-编写一个ArrayQueue类
56 class ArrayQueue{
57     //表示数组的最大容量
58     private int maxSize;
59     //指向队首的指针
60     private int front;
61     //指向队尾的指针
62     private int rear;
63     private int[] arr;
64     public ArrayQueue(int maxSize){
65         this.maxSize = maxSize;
66         arr = new int[maxSize];
67         front = -1;//指向队列头部, 指向队列头的前一个位置
68         rear = -1;//指向队列尾, 指向队列的最后一个数据
69     }
70     //判断队列是否为满
71
72     public boolean isFull(){
73         return rear == maxSize - 1;
74     }
75     //判断队列是否为空
76     public boolean isEmpty(){
77         return rear == front;
78     }
79
80     //添加数据到队列
81     public void addQueue(int n){
82         //判断队列是否为满
83         if (isFull()){
84             System.out.println("队列满! 不能加入!");
85             return;
86         }
87         arr[++rear] = n;

```

```

88     }
89     //获取队列的数据，出队列
90     public int getQueue(){
91         if (isEmpty()){
92             throw new RuntimeException("队列空！不能取数据！");
93         }
94         return arr[++front];
95     }
96     public void showQueue(){
97         if (isEmpty()){
98             System.out.println("队列为空！");
99             return;
100        }
101        System.out.print("[");
102        for (int i = front + 1; i <= rear; i++) {
103            System.out.print(arr[i]);
104            if (i!=rear){
105                System.out.print(", ");
106            }
107        }
108        System.out.println("]");
109    }
110
111    //显示队列头部的数据，不是取数据
112    public int headQueue(){
113        if (isEmpty()){
114            throw new RuntimeException("队列为空！");
115        }
116        return arr[front + 1];
117    }
118 }

```

上述队列的问题分析及优化：

1. 目前数组使用一次就不能复用了，没有达到复用的效果。
2. 将这个数组使用算法，改进成一个环形的队列。（取模）

2.2.3 数组模拟环形队列

思路：

1. `front` 变量的含义做一个调整：`front` 指向队列的第一个元素。即 `arr[front]` 是队列的第一个元素。`front` 初始值为 0。
2. `rear` 变量的含义做一个调整：`rear` 指向队列的最后一个元素的后一个位置。因为希望空出一个空间作为约定。`rear` 初始值为 0
3. 队列满时：条件是 `(rear + 1) % maxSize == front`
4. 队列空：`rear == front`
5. 队列中有效数据的个数：`(rear - front + maxSize) % maxSize`

2.2.4 环形队列的代码实现

```

1 class CircleArrayQueue{

```



```

2 //表示数组的最大容量
3 private int maxSize;
4 //指向队首的指针
5 private int front;
6 //指向队尾的指针
7 private int rear;
8 private int[] arr;
9 public CircleArrayQueue(int maxSize){
10     this.maxSize = maxSize + 1; //要空出一个空间, 所以要+1
11     arr = new int[this.maxSize];
12     front = 0; //指向队列头部, 指向队列第一个元素
13     rear = 0; //指向队列尾, 指向队列的最后一个数据的下一个位置
14 }
15
16 //判断队列是否为满
17 public boolean isFull(){
18     //数组的一个空间是不存元素的
19     //假设front在开头, 即下标为0; rear在队列的最后, 也就是数组的最后一个位置,
20     //下标为maxSize - 1
21     //此时队列是满的, 有(rear + 1) % maxSize == front
22     return (rear + 1) % maxSize == front;
23 }
24
25 //判断队列是否为空
26 public boolean isEmpty(){
27     return rear == front;
28 }
29 //添加数据到队列
30 public void addQueue(int n){
31     //判断队列是否满
32     if (isFull()){
33         System.out.println("队列满! 不能加入!");
34         return;
35     }
36     arr[rear] = n;
37     rear = (rear + 1) % maxSize;
38 }
39
40 //获取队列的数据, 出队列
41 public int getQueue(){
42     if (isEmpty()){
43         throw new RuntimeException("队列空! 不能取数据!");
44     }
45     //1. 先把front对应的值保留到临时变量中
46     //2. 把front后移
47     //3. 返回临时变量保存的值
48     int ret = arr[front];
49     front = (front + 1) % maxSize;
50     return ret;
51 }

```

```
52     public void showQueue(){
53         if(isEmpty()){
54             System.out.println("队列为空!");
55             return;
56         }
57         System.out.print("[");
58         for (int i = front; i < front + getSize(); i++) {
59             System.out.print(arr[i % maxSize]);
60             if (i!=front + getSize() - 1){
61                 System.out.print(", ");
62             }
63         }
64         System.out.println("]");
65     }
66     //求出当前队列有效数据的个数
67
68
69     public int getSize() {
70         return (rear + maxSize - front) % maxSize;//rear可能会位于front的前边，此时为负数，所以要加上maxSize
71     }
72
73     //显示队列头部的数据，不是取数据
74     public int headQueue(){
75         if (isEmpty()){
76             throw new RuntimeException("队列为空!");
77         }
78         return arr[front];
79     }
80 }
```

第三章 链表

链表：

1. 以节点的方式来存储；
2. 每个节点包含 data 域，next 域（指向下一个节点）

3.1 单链表

3.1.1 代码实现

```
1 public class SingleLinkedListDemo {
2     public static void main(String[] args) {
3         HeroNode heroNode1 = new HeroNode(1, "宋江", "及时雨");
4         HeroNode heroNode2 = new HeroNode(2, "卢俊义", "玉麒麟");
5         HeroNode heroNode3 = new HeroNode(3, "吴用", "智多星");
6         HeroNode heroNode4 = new HeroNode(4, "林冲", "豹子头");
7
8
9         SingleLinkedList singleLinkedList1 = new SingleLinkedList();
10        // singleLinkedList1.list();
11        singleLinkedList1.addByOrder(heroNode1);
12        // singleLinkedList1.list();
13        singleLinkedList1.addByOrder(heroNode2);
14        singleLinkedList1.addByOrder(heroNode4);
15        // singleLinkedList1.list();
16        singleLinkedList1.addByOrder(heroNode3);
17        singleLinkedList1.list();
18        HeroNode newHeroNode = new HeroNode(2, "李逵", "黑旋风");
19        singleLinkedList1.update(newHeroNode);
20        singleLinkedList1.list();
21        singleLinkedList1.delete(heroNode1);
22        singleLinkedList1.list();
23        singleLinkedList1.delete(heroNode2);
24        singleLinkedList1.list();
25        singleLinkedList1.delete(heroNode3);
26        singleLinkedList1.list();
27        singleLinkedList1.delete(heroNode1);
28        singleLinkedList1.delete(heroNode4);
29        singleLinkedList1.list();
30        singleLinkedList1.delete(heroNode1);
31        singleLinkedList1.list();
32    }
33 }
34
35 //定义SingleLinkedList 管理我们的英雄
36 class SingleLinkedList{
37     //先初始化一个头结点
38     private HeroNode head = new HeroNode();
39 }
```

```

40 //尾插
41 public void add(HeroNode heroNode){
42     HeroNode curNode = head;
43     while(true){
44         if (curNode.next == null) {
45             break;
46         }
47         curNode = curNode.next;
48     }
49     curNode.next = heroNode;
50 }
51
52 //方式2: 按编号的顺序添加
53 //如果编号存在, 抛出异常
54 public void addByOrder(HeroNode heroNode){
55     HeroNode curNode = head;
56     boolean flag = false; //标识添加的编号是否存在, 默认不存在
57     while(true){
58         if (curNode.next == null){ //说明curNode在链表的最后
59             break;
60         }
61         if (curNode.next.getNum() > heroNode.getNum()) { //位置找到了, 就在
            curNode的后边
62             break;
63         } else if (curNode.next.getNum() == heroNode.getNum()) { //说明编号存在
64             System.out.println("节点" + heroNode.getNum() + "已存在在链表中!"
65                 );
66             System.out.println("添加失败!");
67             return;
68         }
69         curNode = curNode.next;
70     }
71     heroNode.next = curNode.next;
72     curNode.next = heroNode;
73 }
74 //显示链表
75 public void list(){
76     if (head.next == null){
77         System.out.println("[]");
78         return;
79     }
80     HeroNode curNode = head.next;
81     System.out.print("[");
82     while (true){
83         if (curNode == null){
84             break;
85         }
86         System.out.print(curNode.toString());
87         if (curNode.next != null){
88             System.out.print(",");
89         }
90     }
91     System.out.println();
92 }

```

```

89         curNode = curNode.next;
90     }
91     System.out.println("]");
92 }
93
94 //修改链表中节点的信息：根据编号来改变名字和昵称
95 public void update(HeroNode heroNode){//根据heroNode的num来修改
96     if (head.next == null){
97         System.out.println("链表中无节点，无法修改！");
98         System.out.println("修改失败！");
99         return;
100    }
101    HeroNode curNode = head.next;
102    while (curNode != null){
103        if (curNode.getNum() == heroNode.getNum()){
104            curNode.setName(heroNode.getName());
105            curNode.setNickName(heroNode.getNickName());
106            return;
107        }
108        curNode = curNode.next;
109    }
110    System.out.println("没有找到相关节点，无法修改！");
111    System.out.println("修改失败！");
112 }
113
114 //删除节点
115 public void delete(HeroNode heroNode){
116     if (head.next == null){
117         System.out.println("链表中无节点，无法删除！");
118         System.out.println("删除失败！");
119         return;
120    }
121    HeroNode curNode = head;
122    while (curNode.next != null){
123        if (curNode.next.getNum() == heroNode.getNum()){
124            curNode.next = curNode.next.next;
125            return;
126        }
127        curNode = curNode.next;
128    }
129    System.out.println("链表中无该节点，无法删除！");
130    System.out.println("删除失败！");
131 }
132 }
133
134 //定义HeroNode，每个HeroNode对象就是一个节点
135 class HeroNode{
136     private int num;
137     private String name;
138     private String nickName;
139     public HeroNode next;

```

```
140
141 //构造器
142 //无参版
143 public HeroNode(){
144
145 }
146 //有参版
147 public HeroNode(int num,String name,String nickName){
148     this.num = num;
149     this.name = name;
150     this.nickName = nickName;
151 }
152
153 public int getNum() {
154     return this.num;
155 }
156
157 public String getName() {
158     return name;
159 }
160
161 public String getNickName() {
162     return nickName;
163 }
164
165 public void setNum(int num) {
166     this.num = num;
167 }
168
169 public void setName(String name) {
170     this.name = name;
171 }
172
173 public void setNickName(String nickName) {
174     this.nickName = nickName;
175 }
176
177 @Override
178 public String toString() {
179     return "HeroNode{" +
180         "num=" + getNum() +
181         ", name='" + name + '\'' +
182         ", nickName='" + nickName + '\'' +
183         '}';
184 }
185 }
```

3.1.2 单链表的面试题

```

1 import java.util.Random;
2 import java.util.Scanner;
3 import java.util.Stack;
4
5 public class InterviewTest {
6     public static void main(String[] args) {
7         Node head = new Node();
8         Node cur = head;
9         for (int i = 1; i <= 3; i++) {
10             cur.next = new Node(i);
11             cur = cur.next;
12         }
13         //求链表的有效节点长度
14         //带傀儡节点版
15         System.out.println("-----");
16         System.out.println(getLength1(head));
17         //不带傀儡节点版
18         System.out.println("-----");
19         System.out.println(getLength2(head.next));
20         System.out.println("-----");
21         // System.out.println("您要求倒数第几个节点? ");
22         // Scanner scanner = new Scanner(System.in);
23         int num = 1;
24         System.out.println("求倒数第" + num + "个节点: 方法一 (头结点为有效节点的前一个)");
25         Node ret = findLastIndexNode1(head, num);
26         if (ret != null) {
27             System.out.println(ret.num);
28         } else {
29             System.out.println("ret指向为null");
30         }
31         System.out.println("-----");
32         System.out.println("求倒数第" + num + "个节点: 方法一 (头结点为有效节点)");
33         ;
34         Node ret1 = findLastIndexNode2(head.next, num);
35         if (ret1 != null) {
36             System.out.println(ret1.num);
37         } else {
38             System.out.println("ret1指向为null");
39         }
40         System.out.println("-----");
41         System.out.println("求倒数第" + num + "个节点: 方法二 (头结点下一个为有效节点) 快慢指针1");
42         Node ret3 = findLastIndexNode3(head, num);
43         if (ret3 != null) {
44             System.out.println(ret3.num);
45         } else {
46             System.out.println("ret3指向为null");
47         }
48     }

```

```

49     System.out.println("-----");
50     System.out.println("求倒数第" + num + "个节点：方法二（头结点下一个为有效节
      点）快慢指针2");
51     Node ret4 = findLastIndexNode4(head, num);
52     if (ret4 != null) {
53         System.out.println(ret4.num);
54     }else{
55         System.out.println("ret4指向为null");
56     }
57
58     System.out.println("-----");
59     head = reverse1(head);
60     printLinkedList(head.next);
61     System.out.println("-----");
62     head = reverse2(head.next);
63     printLinkedList(head);
64     System.out.println("-----");
65     reversePrint(head);
66     System.out.println("-----");
67     System.out.println("合并有序链表");
68     Node head1 = new Node();
69     Node cur1 = head1;
70     Scanner scanner = new Scanner(System.in);
71     Random random = new Random();
72     System.out.println("请输入head1的长度");
73     int i = scanner.nextInt();
74     System.out.println("请输入head1的初始值");
75     int number = scanner.nextInt();
76     Node tmp = null;
77     head1.num = number;
78
79     while (i > 0){
80         cur1.next = new Node(cur1.num + random.nextInt(10) + 1);
81         cur1 = cur1.next;
82         i--;
83     }
84     Node head2 = new Node();
85     cur1 = head2;
86     System.out.println("请输入head2的长度");
87     i = scanner.nextInt();
88     System.out.println("请输入head2的初始值");
89     number = scanner.nextInt();
90     head2.num = number;
91     while (i > 0){
92         cur1.next = new Node(cur1.num + random.nextInt(10) + 1);
93         cur1 = cur1.next;
94         i--;
95     }
96     System.out.println("打印链表1: ");
97     printLinkedList(head1);
98     System.out.println("打印链表2: ");

```



```

99     printLinkedList(head2);
100     Node mergeNode = mergeLinkedList(head1, head2);
101     System.out.println("打印合并后的链表: ");
102     if (mergeNode != null){
103         printLinkedList(mergeNode);
104     }else{
105         System.out.println("合并的链表为空");
106     }
107 }
108 //1. 求单链表中有效节点的个数
109 //如果是带头结点的, 头结点要去掉
110
111 /**
112  *
113  * @param head 是链表的头结点 (第一个有效节点前的那个节点)
114  * @return 返回有效节点的个数
115  */
116 public static int getLength1(Node head){
117     if (head.next == null){
118         return 0;
119     }
120     int sum = 0;
121     Node curNode = head.next;
122     while (curNode != null){
123         sum++;
124         curNode = curNode.next;
125     }
126     return sum;
127 }
128
129 /**
130  *
131  * @param head 是链表第一个有效节点
132  * @return 返回有效节点的个数
133  */
134 public static int getLength2(Node head){
135     if (head == null){
136         return 0;
137     }
138     int sum = 0;
139     Node curNode = head;
140     while (curNode != null){
141         sum++;
142         curNode = curNode.next;
143     }
144     return sum;
145 }
146
147 //查找单链表的倒数第K个节点
148
149 //方法一:

```

```

150 //1. 写一个方法接收head好项目和K
151 //2. 先遍历链表得到链表的长度sum
152 //3. 从链表的头部开始遍历找链表的第sum - k个节点即可
153 //4. 找到后就依题意返回, 这里返回对应节点的引用
154
155 /**
156  *
157  * @param head 是链表的头结点 (第一个有效节点前的那个节点)
158  * @return 返回对应节点的引用, 没有则返回null
159  */
160 public static Node findLastIndexNode1(Node head, int k){
161     if (head.next == null){
162         return null;
163     }
164     int sum = getLength1(head);
165     if(k <= 0 || k > sum){
166         return null;
167     }
168     Node curNode = head.next;
169     for (int i = 0; i < sum - k; i++) {
170         curNode = curNode.next;
171     }
172     return curNode;
173 }
174 /**
175  *
176  * @param head 是链表的第一个有效节点
177  * @return 返回对应节点的引用, 没有则返回null
178  */
179 public static Node findLastIndexNode2(Node head, int k){
180     if (head == null){
181         return null;
182     }
183     int sum = getLength2(head);
184     if(k <= 0 || k > sum){
185         return null;
186     }
187     Node curNode = head;
188     for (int i = 0; i < sum - k; i++) {
189         curNode = curNode.next;
190     }
191     return curNode;
192 }
193
194 //方法二: 使用快慢指针1
195 //不求链表的长度
196 //快慢指针同时指向第一个有效数据节点, 快指针向后移动k - 1步, 走到第k个节点。
197 //快慢指针同时向后走, 直到慢指针走到链表最后一个节点
198
199 /**
200  *

```

```

201     * @param head
202     * @param k
203     * @return
204     */
205     public static Node findLastIndexNode3(Node head,int k){
206         if (head.next == null){
207             return null;
208         }
209         if(k <= 0){
210             return null;
211         }
212         Node fast = head.next;
213         Node slow = head.next;
214         for (int i = 0; i < k - 1; i++) {
215             if(fast == null){
216                 return null;
217             }
218             fast = fast.next;
219         }
220         if (fast == null){
221             return null;
222         }
223         while(fast.next != null){
224             fast = fast.next;
225             slow = slow.next;
226         }
227         return slow;
228     }
229
230     //方法二：使用快慢指针1
231     //不求链表的长度
232     //快慢指针同时指向头节点（有效数据的前一个节点），快指针移动k步。
233     //快慢指针同时向后走，直到快指针指向为null
234
235     /**
236     *
237     * @param head
238     * @param k
239     * @return
240     */
241     public static Node findLastIndexNode4(Node head,int k){
242         if (head.next == null){
243             return null;
244         }
245         if(k <= 0){
246             return null;
247         }
248         Node fast = head;
249         Node slow = head;
250         for (int i = 0; i < k; i++) {
251             if(fast == null){

```

```
252         return null;
253     }
254     fast = fast.next;
255 }
256 if (fast == null){
257     return null;
258 }
259 while(fast != null){
260     fast = fast.next;
261     slow = slow.next;
262 }
263 return slow;
264 }
265
266 // 单链表翻转
267 /**
268  * 方法一：头插法
269  * @author 王松年
270  * @param head 的下一个节点是有效节点
271  * @return 新的头结点
272  */
273 public static Node reverse1(Node head){
274     if(head.next == null || head.next.next == null){
275         return head;
276     }
277     Node newHead = new Node();
278     Node curNode = head.next;
279     Node nextNode = curNode.next;
280     while (curNode != null){
281         nextNode = curNode.next;
282         curNode.next = newHead.next;
283         newHead.next = curNode;
284         curNode = nextNode;
285     }
286     return newHead;
287 }
288
289 /**
290  * 方法一：头插法
291  * @author 王松年
292  * @param head 是有效节点
293  * @return 新的头结点
294  */
295 public static Node reverse2(Node head){
296     if(head == null || head.next == null){
297         return head;
298     }
299     Node newHead = new Node();
300     Node curNode = head;
301     Node nextNode = curNode.next;
302     while (curNode != null){
```

```

303         nextNode = curNode.next;
304         curNode.next = newHead.next;
305         newHead.next = curNode;
306         curNode = nextNode;
307     }
308     return newHead.next;
309 }
310
311 /**
312  * 方法二：三指针
313  * @author 王松年
314  * @param head 是有效节点
315  * @return 新的头结点
316  */
317 public static Node reverse3(Node head){
318     if(head == null || head.next == null){
319         return head;
320     }
321     Node preNode = null;
322     Node curNode = head;
323     Node nextNode = curNode.next;
324     while(curNode != null){
325         nextNode = curNode.next;
326         curNode.next = preNode;
327         preNode = curNode;
328         curNode = nextNode;
329     }
330     return preNode;
331 }
332
333 //从尾到头打印单链表
334
335 /**
336  * head为有效数据
337  */
338 //注意不要改变原有链表的结构（即不能翻转链表）
339 //方法：使用栈
340 public static void reversePrint(Node head){
341     if (head == null){
342         System.out.println("[]");
343         return;
344     }
345     Stack<Integer> stack = new Stack<>();
346     while (head != null){
347         stack.add(head.num);
348         head = head.next;
349     }
350     System.out.print("[");
351     while (!stack.isEmpty()){
352         System.out.print(stack.pop());
353         if ((stack.size())>=1){

```

```
354         System.out.print(",");
355     }
356 }
357     System.out.println("]");
358 }
359
360 //合并两个有序的链表，要求合并后的链表依旧有序
361
362 /**
363  *
364  * @param head1 第一个有效节点
365  * @param head2 第一个有效节点
366  * @return
367  */
368 public static Node mergeLinkedList(Node head1, Node head2){
369     Node newHead = new Node();
370     Node cur1 = head1;
371     Node cur2 = head2;
372     Node cur = newHead;
373     if (head1 == null && head2 == null){
374         return null;
375     }
376     if (cur1 == null){
377         return head2;
378     }
379     if (cur2 == null){
380         return head1;
381     }
382     while (cur1 != null && cur2 != null){
383         if (cur1.num <= cur2.num){
384             cur.next = cur1;
385             cur = cur.next;
386             cur1 = cur1.next;
387         }else{
388             cur.next = cur2;
389             cur = cur.next;
390             cur2 = cur2.next;
391         }
392     }
393     if (cur1 != null){
394         cur.next = cur1;
395     }
396     if (cur2 != null){
397         cur.next = cur2;
398     }
399     return newHead.next;
400 }
401
402
403 //显示链表:第一个节点为有效节点
404 public static void printLinkedList(Node head) {
```

```

405     System.out.print("[");
406     while (head != null){
407         System.out.print(head.num);
408         if (head.next != null){
409             System.out.print(",");
410         }
411         head = head.next;
412     }
413     System.out.println("]");
414 }
415 }
416
417
418
419
420 class Node{
421     public int num;
422     public Node next;
423
424     public Node(int num) {
425         this.num = num;
426     }
427     public Node() {
428         //TODO
429     }
430 }

```

3.2 双向链表

3.2.1 特点

既有 `next`（指向下一个节点），也有 `pre`（指向前一个节点）

可以自我删除。

遍历：和单链表一致，只不过可以向前查找，也可以向后查找

添加：末尾添加

先找到双向链表的最后一个节点，把新节点的 `pre` 指向最后一个节点，把最后一个节点的 `next` 指向新的节点

添加：中间添加，添加到某个节点的后边

把新节点的 `pre` 指向这个节点，新节点的 `next` 指向该节点的 `next`，把该节点后边那个节点的 `pre` 指向新节点，该节点的 `next` 指向新节点

修改：与单向链表一致

删除：中间节点

因为是双向链表，可以直接找到待删除节点。把该节点后边的那个节点的 `pre` 指向该节点前边的那个节点：

`delNode.next.pre = delNode.pre`，把该节点前的节点的 `next` 指向该节点的下一个节点：`delNode.pre.next = delNode.next`

3.2.2 代码实现

```

1 public class DoubleLinkedListDemo {
2     public static void main(String[] args) {
3         System.out.println("-----");
4         System.out.println("双向链表的测试: ");
5         HeroNode2 node1 = new HeroNode2(1,"宋江","及时雨");
6         HeroNode2 node2 = new HeroNode2(2,"卢俊义","玉麒麟");
7         HeroNode2 node3 = new HeroNode2(3,"吴用","智多星");
8         HeroNode2 node4 = new HeroNode2(4,"林冲","豹子头");
9         DoubleLinkedList doubleLinkedList1 = new DoubleLinkedList();
10        //添加
11        doubleLinkedList1.add(node1);
12        doubleLinkedList1.add(node2);
13        //doubleLinkedList1.add(node3);
14        doubleLinkedList1.add(node4);
15        doubleLinkedList1.list();
16        //    //修改
17        //    HeroNode2 newNode = new HeroNode2(2, "公孙胜", "入云龙");
18        //    doubleLinkedList1.update(newNode);
19        //    System.out.println("-----");
20        //    System.out.println("双向链表的测试: (修改链表内容)");
21        //    doubleLinkedList1.list();
22        //    //删除
23        //    doubleLinkedList1.delete(node2);
24        //    doubleLinkedList1.list();
25        //    doubleLinkedList1.delete(node4);
26        //    doubleLinkedList1.list();
27        //
28        System.out.println("-----");
29        System.out.println("测试: 添加相同元素");
30        HeroNode2 addNode1 = new HeroNode2(4,"林冲","豹子头");
31        doubleLinkedList1.addByOrder(addNode1);
32        doubleLinkedList1.list();
33        //HeroNode2 addNode1 = new HeroNode2(4,"林冲","豹子头");
34        System.out.println("-----");
35        System.out.println("往中间添加元素: ");
36        doubleLinkedList1.addByOrder(node3);
37        doubleLinkedList1.list();
38        System.out.println("-----");
39        System.out.println("往末尾添加元素: ");
40        HeroNode2 node5 = new HeroNode2(5,"鲁智深","花和尚");
41        doubleLinkedList1.addByOrder(node5);
42        doubleLinkedList1.list();
43        System.out.println("-----");
44        System.out.println("往开头添加元素: ");
45        HeroNode2 node0 = new HeroNode2(0,"0","0");
46        doubleLinkedList1.addByOrder(node0);
47        doubleLinkedList1.list();
48    }
49 }
50

```



```
51 //双向链表类
52 class DoubleLinkedList {
53     //初始化
54     private HeroNode2 head = new HeroNode2();
55
56     public HeroNode2 getHead() {
57         return head;
58     }
59
60     //遍历双向链表
61     //显示链表
62     public void list() {
63         if (head.next == null) {
64             System.out.println("[]");
65             return;
66         }
67         HeroNode2 curNode = head.next;
68         System.out.print("[");
69         while (true) {
70             if (curNode == null) {
71                 break;
72             }
73             System.out.print(curNode.toString());
74             if (curNode.next != null) {
75                 System.out.print(",");
76             }
77             curNode = curNode.next;
78         }
79         System.out.println("]");
80     }
81
82     //尾插
83     public void add(HeroNode2 heroNode) {
84         HeroNode2 curNode = head;
85         while (curNode.next != null) {
86             curNode = curNode.next;
87         }
88         curNode.next = heroNode;
89         heroNode.pre = curNode;
90     }
91
92     //方式2：按编号的顺序添加
93     //如果编号存在，抛出异常
94     public void addByOrder(HeroNode2 heroNode){
95         HeroNode2 curNode = head.next;
96         while(curNode != null && curNode.getNum() < heroNode.getNum()){
97             curNode = curNode.next;
98         }
99         if(curNode == null){
100             add(heroNode);
101             return;
```

```

102     }
103     if (curNode.getNum() == heroNode.getNum()){
104         System.out.println("链表中已有数据，无法添加。");
105         return;
106     }
107     heroNode.next = curNode;
108     heroNode.pre = curNode.pre;
109     curNode.pre.next = heroNode;
110     curNode.pre = heroNode;
111 }
112
113 //修改链表中节点的信息：根据编号来改变名字和昵称
114 public void update(HeroNode2 heroNode) { //根据heroNode的num来修改
115     if (head.next == null) {
116         System.out.println("链表中无节点，无法修改！");
117         System.out.println("修改失败！");
118         return;
119     }
120     HeroNode2 curNode = head.next;
121     while (curNode != null) {
122         if (curNode.getNum() == heroNode.getNum()) {
123             curNode.setName(heroNode.getName());
124             curNode.setNickName(heroNode.getNickName());
125             return;
126         }
127         curNode = curNode.next;
128     }
129     System.out.println("没有找到相关节点，无法修改！");
130     System.out.println("修改失败！");
131 }
132
133 public void delete(HeroNode2 heroNode) {
134     if (head.next == null) {
135         System.out.println("链表中无节点，无法删除！");
136         System.out.println("删除失败！");
137         return;
138     }
139     HeroNode2 curNode = head.next;
140     while (curNode != null) {
141         if (curNode.getNum() == heroNode.getNum()) {
142             curNode.pre.next = curNode.next;
143             if (curNode.next != null) {
144                 curNode.next.pre = curNode.pre;
145             }
146             return;
147         }
148         curNode = curNode.next;
149     }
150     System.out.println("链表中无该节点，无法删除！");
151     System.out.println("删除失败！");
152 }

```

```
153 }
154
155 class HeroNode2 {
156     private int num;
157     private String name;
158     private String nickName;
159     public HeroNode2 pre;
160     public HeroNode2 next;
161
162     //构造器
163     //无参版
164     public HeroNode2() {
165
166     }
167
168     //有参版
169     public HeroNode2(int num, String name, String nickName) {
170         this.num = num;
171         this.name = name;
172         this.nickName = nickName;
173     }
174
175     public int getNum() {
176         return this.num;
177     }
178
179     public String getName() {
180         return name;
181     }
182
183     public String getNickName() {
184         return nickName;
185     }
186
187     public void setNum(int num) {
188         this.num = num;
189     }
190
191     public void setName(String name) {
192         this.name = name;
193     }
194
195     public void setNickName(String nickName) {
196         this.nickName = nickName;
197     }
198
199     @Override
200     public String toString() {
201         return "HeroNode{" +
202             "num=" + getNum() +
```

```

204         ", name='" + name + '\'' +
205         ", nickName='" + nickName + '\'' +
206         '}';
207     }
208 }

```

3.3 单向环形链表

3.3.1 应用场景-约瑟夫问题

设编号为 1-n 的 n 个人围坐一圈，约定编号为 k 的人开始报数，数到 m 的那个人出列，它的下一位又从 1 开始报数，数到 m 的那个人又出列，依次类推，知道所有人出列为止，由此产生一个出队编号的序列。

用一个不带头节点的循环列表来处理该问题。

3.3.2 代码实现

构建一个单向环形链表的思路：

1. 先创建第一个节点，让 `first` 指向该节点
2. 每创建一个新的节点 `newNode`，就把该节点加入到已有的环形链表中。

遍历环形链表：

1. 先让辅助指针 `curNode`，指向 `first` 节点
2. 通过 `while` 循环遍历环形链表即可
3. 链表剩余一个节点的条件：`curNode.next == first`

```

1 public class Josephu {
2     public static void main(String[] args) {
3         CircleSingleLinkedList circleSingleLinkedList = new CircleSingleLinkedList
4             ();
5         circleSingleLinkedList.add(125);
6         circleSingleLinkedList.list();
7         System.out.println(circleSingleLinkedList.size());
8         circleSingleLinkedList.josephu(10,20,circleSingleLinkedList.size());
9     }
10 }
11 //创建环形单向链表
12 class CircleSingleLinkedList{
13     //创建first节点
14     private BoyNode first;
15
16     //添加新的节点，构建一个环形链表
17     public void add(int nums) {
18         if (nums < 1){
19             return;
20         }
21         //使用for循环创建环形链表
22         BoyNode curNode = null;

```

```
23     for (int i = 0; i < nums; i++) {
24         BoyNode newNode = new BoyNode(i + 1);
25         if (i == 0){
26             first = newNode;
27             first.next = first;
28             curNode = first;
29         }else {
30             newNode.next = curNode.next;
31             curNode.next = newNode;
32             curNode = curNode.next;
33         }
34     }
35 }
36
37 //遍历当前的环形链表
38 public void list(){
39     if (first == null){
40         System.out.println("[]");
41         return;
42     }
43     BoyNode curNode = first;
44     System.out.print("[");
45     while(curNode.next != first){
46         System.out.print(curNode.getNum());
47         System.out.print(",");
48         curNode = curNode.next;
49     }
50     System.out.print(curNode.getNum());
51     System.out.println("]");
52 }
53
54 //节点个数
55 public int size(){
56     if (first == null){
57         return 0;
58     }
59     int sum = 0;
60     BoyNode curNode = first;
61     while(true){
62         sum++;
63         if (curNode.next == first){
64             break;
65         }
66         curNode = curNode.next;
67     }
68     return sum;
69 }
70
71 //约瑟夫问题
72 /**
73     *
```

```
74     * @param start 从哪个小孩开始数
75     * @param m 每次数几个
76     * @param sum 表示最初共有几个小孩
77     */
78     public void josephu(int start, int m, int sum) {
79         if (first == null || start < 1 || start > sum) {
80             System.out.println("参数输入有误, 请重新输入: ");
81             return;
82         }
83         BoyNode preNode = first;
84         BoyNode curNode = first;
85         while(preNode.next != first){
86             preNode = preNode.next;
87         }
88         //移动到第start个小孩
89         for (int i = 0; i < start - 1; i++) {
90             first = first.next;
91             preNode = preNode.next;
92         }
93         System.out.print("[");
94         while(first.next != first){
95             for (int i = 0; i < m - 1; i++) {
96                 first = first.next;
97                 preNode = preNode.next;
98             }
99             System.out.print(first.getNum());
100            System.out.print(",");
101            preNode.next = first.next;
102            first = first.next;
103        }
104        System.out.print(first.getNum());
105        System.out.println("]");
106    }
107
108    public BoyNode getFirst() {
109        return first;
110    }
111 }
112 //创建一个节点
113 class BoyNode{
114     private int num;
115     public BoyNode next;
116
117     public BoyNode() {
118     }
119     public BoyNode(int num) {
120         this.num = num;
121     }
122
123     public int getNum() {
124         return num;
```

```
125     }  
126  
127     public void setNum(int num) {  
128         this.num = num;  
129     }  
130 }
```

第四章 栈

4.1 栈的知识

1. 栈的英文是 stack;
2. 栈的元素先进后出
3. 出栈: pop
4. 入栈: push

4.2 栈的应用场景

1. 子程序的调用;
2. 处理递归调用
3. 表达式的转换（中缀表达式转后缀表达式）与求值（使用后缀表达式求值）
4. 二叉树的遍历
5. 图形的深度优先搜索算法

4.3 代码实现

4.3.1 思路分析

1. 使用数组模拟栈;
2. `top` 表示栈顶, 初始化为 `-1`。
3. 入栈: `arr[++top] = num;`
4. 出栈: `return arr[top--]`

4.3.2 数组实现

```
1 import java.util.Random;
2 import java.util.Scanner;
3
4 public class ArrayStackDemo {
5     public static void main(String[] args) {
6         // 栈的测试室代码:
7         Scanner scanner = new Scanner(System.in);
8         System.out.println("栈的测试: ");
9         System.out.println("请输入栈的规模");
10        int capacity = scanner.nextInt();
11        ArrayStack arrayStack = new ArrayStack(capacity);
12        String key = "";
13        boolean loop = true;
14        while (loop) {
15            System.out.println("-----");
16            System.out.println("s(Show): 显示栈");
17            System.out.println("e(Exit): 退出栈");
18            System.out.println("p(Pop): 弹出栈顶元素");
19            System.out.println("pu(Push): 往栈中加入元素");
```



```

20     System.out.println("t(TopValue): 查看栈顶元素");
21     System.out.println("请输入你的选择: ");
22     key = scanner.next();
23     switch (key) {
24         case "t":
25             try {
26                 int num = arrayStack.topValue();
27                 System.out.println(num);
28             } catch (Exception e) {
29                 System.out.println(e.getMessage());
30             }
31             break;
32         case "pu":
33             int num = randomNum();
34             System.out.println("要加入栈的元素是: " + num);
35             arrayStack.push(num);
36             break;
37         case "p":
38             try {
39                 int num1 = arrayStack.pop();
40                 System.out.println(num1);
41             } catch (Exception e) {
42                 System.out.println(e.getMessage());
43             }
44             break;
45         case "s":
46             arrayStack.list();
47             break;
48         case "e":
49             scanner.close();
50             loop = false;
51             System.out.println("程序退出");
52             break;
53     }
54 }
55 }
56
57 public static int randomNum() {
58     Random random = new Random();
59     return random.nextInt(1000) + 1;
60 }
61 }
62
63 class ArrayStack {
64     private final int capacity;
65     private int size;
66     private int[] stack;
67     private int top = -1;
68     private int bottom = -1;
69
70     public ArrayStack(int capacity) {

```

```
71         this.capacity = capacity;
72         stack = new int[capacity];
73     }
74
75     //判断栈空
76     public boolean isEmpty() {
77         return top == -1;
78     }
79
80     //判断栈满
81     public boolean isFully() {
82         return top == capacity - 1;
83     }
84
85     //栈的元素
86     public int size() {
87         return top + 1;
88     }
89
90     //入栈
91     public void push(int data) {
92         if (isFully()) {
93             System.out.println("栈满，无法添加！");
94             return;
95         }
96         stack[++top] = data;
97     }
98
99     //出栈
100    public int pop() {
101        if (isEmpty()) {
102            throw new RuntimeException("栈空，没有元素可以出栈！");
103        }
104        return stack[top--];
105    }
106
107    //遍历栈:从栈顶向栈底显示元素
108    public void list() {
109        if (isEmpty()) {
110            System.out.println("[]");
111            return;
112        }
113        System.out.print("[");
114        for (int i = top; i > bottom; i--) {
115            System.out.print(stack[i]);
116            if (i != 0) {
117                System.out.print(",");
118            }
119        }
120        System.out.println("]");
121    }
```

```

122
123 //显示栈顶元素
124 public int topValue() {
125     if (isEmpty()) {
126         throw new RuntimeException("栈空，没有元素可以出栈!");
127     }
128     return stack[top];
129 }
130 }

```

4.3.3 单链表实现

```

1 import java.util.Random;
2 import java.util.Scanner;
3
4 public class SingleLinkedListStackDemo {
5
6     public static int randomNum() {
7         Random random = new Random();
8         return random.nextInt(1000) + 1;
9     }
10
11     public static void main(String[] args) {
12         //栈的测试代码:
13         Scanner scanner = new Scanner(System.in);
14         System.out.println("栈的测试: ");
15         System.out.println("请输入栈的规模");
16         int capacity = scanner.nextInt();
17         SingleLinkedListStack stack = new SingleLinkedListStack(capacity);
18         String key = "";
19         boolean loop = true;
20         while (loop) {
21             System.out.println("-----");
22             System.out.println("s(Show): 显示栈");
23             System.out.println("e(Exit): 退出栈");
24             System.out.println("p(Pop): 弹出栈顶元素");
25             System.out.println("pu(Push): 往栈中加入元素");
26             System.out.println("t(TopValue): 查看栈顶元素");
27             System.out.println("请输入你的选择: ");
28             key = scanner.next();
29             switch (key) {
30                 case "t":
31                     try {
32                         int num = stack.topValue();
33                         System.out.println(num);
34                     } catch (Exception e) {
35                         System.out.println(e.getMessage());
36                     }
37                     break;
38                 case "pu":

```

```
39         int num = randomNum();
40         System.out.println("要加入栈的元素是: " + num);
41         stack.push(num);
42         break;
43     case "p":
44         try {
45             int num1 = stack.pop();
46             System.out.println(num1);
47         } catch (Exception e) {
48             System.out.println(e.getMessage());
49         }
50         break;
51     case "s":
52         stack.list();
53         break;
54     case "e":
55         scanner.close();
56         loop = false;
57         System.out.println("程序退出");
58         break;
59     }
60 }
61 }
62
63 static class SingleLinkedListStack {
64     private Node top;
65     private final int capacity;
66
67     public SingleLinkedListStack(int capacity) {
68         this.capacity = capacity;
69     }
70
71     public boolean isEmpty() {
72         return top == null;
73     }
74
75     public boolean isFull() {
76         return size() == capacity;
77     }
78
79     public int size() {
80         int sum = 0;
81         Node curNode = top;
82         while (curNode != null) {
83             sum++;
84             curNode = curNode.next;
85         }
86         return sum;
87     }
88
89     public void push(int num) {
```

```
90         if (isFull()) {
91             System.out.println("栈满，无法加入！");
92             return;
93         }
94         Node node = new Node(num);
95         node.next = top;
96         top = node;
97     }
98
99     public int pop() {
100         if (isEmpty()) {
101             throw new RuntimeException("栈空，无法取出元素！");
102         }
103         int value = top.getNum();
104         top = top.next;
105         return value;
106     }
107
108     public int topValue() {
109         return top.getNum();
110     }
111
112     public void list() {
113         Node curNode = top;
114         System.out.print("[");
115         while (curNode != null) {
116             System.out.print(curNode.getNum());
117             if (curNode.next != null) {
118                 System.out.print(",");
119             }
120             curNode = curNode.next;
121         }
122         System.out.println("]");
123     }
124 }
125
126 static class Node {
127     private int num;
128     public Node next;
129
130     public Node(int num) {
131         this.num = num;
132     }
133
134     public int getNum() {
135         return num;
136     }
137 }
138 }
```

4.4 栈实现综合计算器

数栈：用于存放数字

符号栈：用于存放符号

使用一个指针扫描字符串：

如果是数字就入数栈：

如果是符号：如果符号栈为空，该符号就直接入栈；如果符号栈有操作符，就要进行比较，如果该符号的优先级小于或者等于栈顶的操作符，需要从数栈弹出两个数字，从符号栈弹出一个操作符，进行运算，得到的结果入数栈，让该符号入操作符栈。如果该符号优先级大于符号栈栈顶的操作符，直接入栈。

扫描完毕后，顺序的从符号栈和数栈弹出相应的符号和数进行运算。

最后数栈只有一个数字，就是最终的运算结果。

4.4.1 代码实现

```

1 public class Calculator {
2     public static double cal(double x, double y, char ope) {
3         double ret = 0;
4         switch (ope) {
5             case '/':
6                 if (y == 0) {
7                     throw new RuntimeException("除数为0");
8                 }
9                 ret = x / y;
10                break;
11             case '*':
12                ret = x * y;
13                break;
14             case '-':
15                ret = x - y;
16                break;
17             case '+':
18                ret = x + y;
19                break;
20             case '^':
21                ret = Math.pow(x,y);
22                break;
23         }
24         return ret;
25     }
26
27     public static int[] readNumber(String str, int index) {
28         int ret = 0;
29         while (index < str.length() && isNum(str.charAt(index))) {
30             int x = str.charAt(index) - '0';
31             ret = ret * 10 + x;
32             index++;
33         }
34         return new int[]{ret, index};
35     }

```

```

36
37 //判断是否为运算符
38 public static boolean isNum(char val) {
39     return val >= '0' && val <= '9';
40 }
41
42 public static int opeNum(char ch) {
43     int ret = -1;
44     switch (ch) {
45         case '+':
46             ret = 0;
47             break;
48         case '-':
49             ret = 1;
50             break;
51         case '*':
52             ret = 2;
53             break;
54         case '/':
55             ret = 3;
56             break;
57         case '^':
58             ret = 4;
59             break;
60         case '!':
61             ret = 5;
62             break;
63         case '(':
64             ret = 6;
65             break;
66         case ')':
67             ret = 7;
68             break;
69         case '\\0':
70             ret = 8;
71             break;
72     }
73     return ret;
74 }
75
76 //
77 public static char orderBetween(char ch1, char ch2) {
78     int num1 = opeNum(ch1);
79     int num2 = opeNum(ch2);
80     char pri[][] = //运算符优先等级[栈顶][当前]
81         { // |-----当前运算符-----|
82             //竖的为栈顶运算符
83             //      +      -      *      /      ^      !      (      )
84             /* + */      {'>', '>', '<', '<', '<', '<', '<', '>', '>'
85             },
86             /* - */      {'>', '>', '<', '<', '<', '<', '<', '>', '>'

```

```

        },
86         /* * */      {'>', '>', '>', '>', '<', '<', '<', '>', '>'
        },
87         /* / */      {'>', '>', '>', '>', '<', '<', '<', '>', '>'
        },
88         /* ^ */      {'>', '>', '>', '>', '>', '<', '<', '>', '>'
        },
89         /* ! */      {'>', '>', '>', '>', '>', '>', ' ', '>', '>'
        },
90         /* ( */      {'<', '<', '<', '<', '<', '<', '<', '=', ' '
        },
91         /* ) */      {' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' '
        },
92         /* \0 */     {'<', '<', '<', '<', '<', '<', '<', ' ', '='
        }
    };

93     };
94     return pri[num1][num2];
95 }
96
97 public static void main(String[] args) {
98     String expression = "13+2*(6-2)+5/2";
99     ArrayStack<Double> numStack = new ArrayStack<>(100);
100    ArrayStack<Character> opeStack = new ArrayStack<>(100);
101    int index = 0;
102    char ope = '0';
103    char ch = ' '; //将每次扫描得到的char保存到ch中
104    opeStack.push('\0');
105    while (!(opeStack.isEmpty())) {
106        if(index < expression.length()){
107            ch = expression.charAt(index);
108        }else{
109            ch = '\0';
110        }
111        if (isNum(ch)) {
112            int[] arr = readNumber(expression, index);
113            double x = (double)arr[0];
114            numStack.push(x);
115            index = arr[1];
116        } else {
117            if (opeStack.isEmpty()) {
118                opeStack.push(ch);
119                index++;
120            } else {
121                switch (orderBetween(opeStack.topValue(), ch)) {
122                    case '>':
123                        ope = opeStack.pop();
124                        if (ope == '!') {
125                            double x = numStack.pop();
126                            numStack.push((double)fac((int)x));
127                        }else{
128                            double y = numStack.pop();

```



```

129         double x = numStack.pop();
130         double value = cal(x,y,ope);
131         numStack.push(value);
132     }
133     break;
134     case '<':
135         opeStack.push(ch);
136         index++;
137         break;
138     case '=':
139         opeStack.pop();
140         index++;
141         break;
142     }
143 }
144 }
145 }
146 System.out.println(numStack.pop());
147 }
148
149 private static int fac(int num) {
150     if (num == 0 || num == 1){
151         return 1;
152     }
153     return num * fac(num - 1);
154 }
155
156 public static void print(ArrayStack arrayStack) {
157     arrayStack.list();
158 }
159 }

```

4.5 栈应用-逆波兰表达式

前缀表达式又称波兰式，表达式的运算符位于操作数之前。

逆波兰表达式求值：从左至右扫描，遇数入栈，遇到符号则弹出栈顶元素进行计算。

4.5.1 逆波兰表达式代码的实现

```

1  import java.util.ArrayList;
2  import java.util.List;
3  import java.util.Stack;
4
5  public class PolandNotation {
6      public static void main(String[] args) {
7          String suffixExpression = "30 4 + 5 * 6 -";
8          List<String> list = getList(suffixExpression);
9          System.out.println(suffixExpression + " = " + cal(list));
10     }

```

```

11 //将逆波兰表达式放入顺序表中
12 public static List<String> getList(String str){
13     List<String> list = new ArrayList<>();
14     int index = 0;
15     String str1[] = str.split(" ");
16     for (String s:str1) {
17         list.add(s);
18     }
19     return list;
20 }
21 //完成对逆波兰表达式的运算
22 public static int cal(List<String> list){
23     Stack<String> stack = new Stack<>();
24     for (String ch: list) {
25         if (ch.matches("\\d+")){//匹配多位数
26             stack.push(ch);
27         }else{
28             if ("!".equals(ch)){
29                 int num = Integer.parseInt(stack.pop());
30                 stack.push("" + fac(num));
31             }else{
32                 int num2 = Integer.parseInt(stack.pop());
33                 int num1 = Integer.parseInt(stack.pop());
34                 int ret = 0;
35                 switch (ch){
36                     case "+":
37                         ret = num1 + num2;
38                         break;
39                     case "-":
40                         ret = num1 - num2;
41                         break;
42                     case "*":
43                         ret = num1 * num2;
44                         break;
45                     case "/":
46                         ret = num1 / num2;
47                         break;
48                     case "^":
49                         ret = (int)Math.pow((double)num1,(double)num1);
50                         break;
51                     default:
52                         throw new RuntimeException("运算符有误");
53                 }
54                 stack.push("" + ret);
55             }
56         }
57     }
58     return Integer.parseInt(stack.pop());
59 }
60
61 private static int fac(int num) {

```

```

62     if (num == 0 || num == 1){
63         return 0;
64     }
65     return num * fac(num - 1);
66 }
67 }

```

4.5.2 中缀表达式转后缀表达式

4.5.2.1 思路

1. 初始化两个栈 `stack1`、`stack2`。
2. 从左至右扫描中缀表达式。
3. 遇到操作数，压入 `stack2`。
4. 遇到运算符，比较该符号与 `stack1` 运算符的优先级：
 - 若 `stack1` 为空，或栈顶运算符为 `(`，将该运算符压入 `stack1`。
 - 若优先级比栈顶的运算符高，也将运算符压入 `stack1`。
 - 否则，将 `stack1` 栈顶元素弹出压入到 `stack2` 中，再次跳转到 4-1 步与 `stack1` 栈顶运算符相比较。
5. 遇到括号：
 - `(`：直接入 `stack1`。
 - `)`：依次弹出 `stack1` 运算符将其压入 `stack2`，遇到 `(`，将这一对括号丢弃。
6. 重复 2-5 步，直到中缀表达式扫描结束。
7. 将 `stack1` 剩余符号全部弹出压入 `stack2`。
8. `stack2` 从栈顶至栈底则是逆波兰表达式。

```

1  import java.util.ArrayList;
2  import java.util.List;
3  import java.util.Stack;
4
5  //中缀表达式转后缀表达式
6  public class ToRPN {
7      public static void main(String[] args) {
8          String expression = "1+((2+3)*4)-5";
9          List<String> list = toList(expression);
10         System.out.println(list);
11         System.out.println(parsrSuffixExpresionToRPN(list));
12     }
13
14     //中缀表达式转成对应的list
15     public static List<String> toList(String str) {
16         List<String> list = new ArrayList<>();
17         int index = 0;
18         StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder();
19         while (index < str.length()) {
20             if (str.charAt(index) == ' ') {

```

```

21         index++;
22     } else if (str.charAt(index) >= '0' && str.charAt(index) <= '9') {
23         while (index < str.length() && str.charAt(index) >= '0' && str.
24             charAt(index) <= '9') {
25             stringBuilder.append(str.charAt(index));
26             index++;
27         }
28         list.add(stringBuilder.toString());
29         stringBuilder.delete(0, stringBuilder.length());
30     } else {
31         list.add(" " + str.charAt(index));
32         index++;
33     }
34     return list;
35 }
36
37 //中缀表达式转为逆波兰表达式
38 public static List<String> parsrSuffixExpreesionToRPN(List<String> list) {
39     List<String> rpn = new ArrayList<>(); //存储中间结果和
40     Stack<String> stack1 = new Stack<>(); //符号栈
41     for (String str : list) {
42         if (str.matches("\\d+")) {
43             rpn.add(str);
44         } else if ("(".equals(str)) {
45             stack1.push(str);
46         } else if (")".equals(str)) {
47             while (!stack1.peek().equals("(")) {
48                 rpn.add(stack1.pop());
49             }
50             stack1.pop();
51         } else {
52             //符号栈不为空或者符号栈栈顶不是(或者该符号优先级不大于栈顶符号
53             while (!(stack1.size() == 0 || stack1.peek().equals("(") && !(
54                 getValue(str) > getValue(stack1.peek())))) {
55                 rpn.add(stack1.pop());
56             }
57             //否则符号入栈
58             stack1.push(str);
59         }
60     }
61     while (!stack1.isEmpty()) {
62         rpn.add(stack1.pop());
63     }
64     return rpn;
65 }
66
67 //优先级
68 public static int getValue(String str) {
69     int add = 1;
70     int sub = 1;

```

```
70     int mul = 2;
71     int div = 2;
72
73     int ret = 0;
74     switch (str) {
75         case "+":
76             ret = add;
77             break;
78         case "-":
79             ret = sub;
80             break;
81         case "*":
82             ret = mul;
83             break;
84         case "/":
85             ret = div;
86             break;
87     }
88     return ret;
89 }
90 }
```

第五章 递归

可以解决的问题：

1. 八皇后问题、汉诺塔、阶乘问题、迷宫问题、球和篮子问题。
2. 快速排序、归并排序、二分查找、分治算法等等。
3. 将用栈解决的问题

递归遵守的规则：

1. 执行一个方法时，就创建一个新的受保护的独立栈空间
2. 方法的局部变量是独立的，不会相互影响，如果是引用类型的变量，就会共享该引用类型的数据。
3. 递归必须向递归基逼近
4. 当一个方法执行完毕，或者遇到 `return`，就会返回，谁调用就返回给谁。

5.1 迷宫问题

```
1 public class Maze {
2     public static void main(String[] args) {
3         //先创建一个二维数组模拟迷宫
4         final int row = 8;
5         final int col = 8;
6         //迷宫地图
7         int[][] map = new int[row][col];
8         //使用1来表示迷宫的墙壁
9         for (int i = 0; i < col; i++) {
10             map[0][i] = 1;
11             map[row - 1][i] = 1;
12         }
13         for (int i = 1; i < row - 1; i++) {
14             map[i][0] = 1;
15             map[i][col - 1] = 1;
16         }
17         //地图中的挡板
18         map[3][1] = 1;
19         map[3][2] = 1;
20         map[1][2] = 1;
21         // map[2][2] = 1;
22         //输出地图
23         printMaze(map);
24
25         //使用递归回溯来给小球找路
26         System.out.println("-----");
27         setWay(map, 1, 1);
28         printMaze(map);
29     }
30     //打印迷宫地图
31     public static void printMaze(int[][] map){
32         for (int[] arr: map) {
33             for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
34                 System.out.print(arr[i]);
```

```

35         if (i != arr.length-1){
36             System.out.print(" ");
37         }
38     }
39     System.out.println();
40 }
41 }
42 //小球找路
43 //map表示地图
44 //出口为地图的右下角，即map[clo - 1 - 1][row - 1 - 1]
45 //当map[i][j]为0，表示该点没有走过
46 //当map[i][j]为1，表示该点为墙
47 //当map[i][j]为2，表示该点走过，且是通路
48 //当map[i][j]为3，表示该点走过，但是不是通路
49 //走迷宫时，需要确定一个策略：先下再右再上再左。如果该点走不通，再回溯
50 /**
51  *
52  * @param map 表示地图
53  * @param i 表示开始位置的横坐标
54  * @param j 表示开始位置的横坐标
55  * @return 找路结果，找到为true
56  */
57 public static boolean setWay(int[][] map,int i,int j){
58     int x = map.length;
59     int y = map[0].length;
60     if(map[x - 1 - 1][y - 1 - 1] == 2){//通路已找到
61         return true;
62     }else{
63         if (map[i][j] == 0){//当前的点还没走过
64             //按照策略玩
65             map[i][j] = 2;//假定该点可以走通
66             if(setWay(map,i+1,j)){//向下
67                 return true;
68             }else if(setWay(map,i,j+1)){//向右
69                 return true;
70             }else if(setWay(map,i-1,j)){//向上
71                 return true;
72             }else if(setWay(map,i,j-1)){//向左
73                 return true;
74             }else{//向四个方向都没走通，说明该点是死路
75                 map[i][j] = 3;
76                 return false;
77             }
78         }else{//某点不等于0，可能为1（墙）、2（通路）、3（死路）
79             return false;
80         }
81     }
82 }
83 }

```

5.2 八皇后问题

问题描述：在 8*8 的棋盘上摆放八颗棋子，任意两颗棋子不能处于同一行、同一列或同一斜线上，问共有多少种摆法。

5.2.1 思路分析

1. 第一个皇后先放到第一行第一列。
2. 第二个皇后放在第二行第一列，判断是否 OK，如果不 OK，继续放在第二列、第三列……依次把所有的列放完后，找到一个合适的位置
3. 下一个皇后同上边第二步
4. 当得到一个正确解时，在退回到上一个栈，就会开始回溯，即将第一个皇后放到第一列的所有正确解全部得到
5. 继续第一个皇后放到第二列，继续循环执行 1-4 步。

5.2.2 代码实现

```
1 import java.util.Arrays;
2
3 public class QueenEight {
4     // 皇后的个数
5     final static int capacity = 8;
6     // 定义一个一维数组存放皇后的位置
7     int[] pos = new int[capacity];
8     // 解法
9     static int count;
10    public static void main(String[] args) {
11        new QueenEight().check(capacity);
12    }
13    // 将皇后摆放的位置输出
14    private void print(){
15        System.out.println(Arrays.toString(pos));
16    }
17
18    // 放置皇后
19    private void check(int n){
20        int x = capacity - n;
21        if (x == capacity){// 共8个皇后，x从0开始的，n等于8说明全部放完了
22            System.out.print("第" + (++count) + "种解法：");
23            print();
24            return;
25        }
26        // 依次放入皇后，并判断是否冲突
27        for (int i = 0; i < capacity; i++) {
28            // 先把当前这个皇后x，放到该行的第1列
29            pos[x] = i;
30            // 放置后判断是否冲突
31            if(judge(x)){// 不冲突就放下一个皇后
32                check(n - 1);
```



```
33     }
34     //冲突就把该皇后放到下一个位置
35 }
36 }
37
38 //当放第n个皇后，检测是否和前面已经摆放的皇后冲突
39 /**
40  *
41  * @param n 第n个皇后,n从0开始
42  * @return 冲突: false, 不冲突: true
43  */
44 private boolean judge(int n){
45     for (int i = 0; i < n; i++) {
46         //pos[i] == pos[n]表示第n个皇后和第i个皇后位于同一列
47         //Math.abs(n - i) == Math.abs(pos[n] - pos[i])表示第n个皇后和第i个皇后
            位于同一斜线
48         if (pos[i] == pos[n] || Math.abs(n - i) == Math.abs(pos[n] - pos[i])){
49             return false;
50         }
51     }
52     return true;
53 }
54 }
```

第六章 排序算法

6.1 冒泡排序

1. 一共要进行数据规模- 1 次排序

6.1.1 代码实现

```
1 package com.atWSN.sort;
2
3 import java.text.SimpleDateFormat;
4 import java.util.Arrays;
5 import java.util.Date;
6 import java.util.Random;
7 import java.util.Scanner;
8
9 public class BubbleSort {
10     public static void main(String[] args) {
11         Scanner scanner = new Scanner(System.in);
12         System.out.println("请输入问题的规模: ");
13         int num = scanner.nextInt();
14         int[] arr = new int[num];
15         //初始化数组
16         initArr(arr);
17         //排序前数组
18         // System.out.println("=====");
19         // System.out.print("排序前: ");
20         // print(arr);
21         //排序
22         Date date1 = new Date();
23         SimpleDateFormat simpleDateFormat = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd HH:mm:ss");
24         String date1Str = simpleDateFormat.format(date1);
25         System.out.println("排序前的时间: " + date1Str);
26         bubbleSort(arr);
27         Date date2 = new Date();
28         String date2Str = simpleDateFormat.format(date2);
29         System.out.println("排序后的时间: " + date2Str);
30         //排序后数组
31         // System.out.println("=====");
32         // System.out.print("排序后: ");
33         // print(arr);
34     }
35
36     private static void bubbleSort(int[] arr) {
37         boolean flag = true;
38         for (int i = 0; i < arr.length - 1; i++) {
39             flag = true;
40             for (int j = 0; j < arr.length - 1 - i; j++) {
41                 if(arr[j] > arr[j + 1]){
```

```

42         flag = false;
43         int tmp = arr[j];
44         arr[j] = arr[j+1];
45         arr[j+1] = tmp;
46     }
47 }
48 // System.out.println(Arrays.toString(arr));
49 if (flag){
50     break;
51 }
52 }
53 }
54
55 private static void print(int[] arr) {
56     System.out.println(Arrays.toString(arr));
57 }
58
59 private static void initArr(int[] arr) {
60     Random random = new Random();
61     for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
62         arr[i] = random.nextInt(2000) - 1000;
63     }
64 }
65 }

```

6.2 选择排序

从前向后遍历数组，从未排序数组中选择最小的数据与未排序数组中的第一个元素进行交换。

或者从后向前遍历数组，从未排序的数组中选择最大的数据与未排序数组中的最后一个元素进行交换。

6.2.1 代码实现

```

1  import java.util.Arrays;
2  import java.util.Random;
3  import java.util.Scanner;
4
5  public class SelectSort {
6
7      public static void main(String[] args) {
8          Scanner scanner = new Scanner(System.in);
9          System.out.println("请输入问题的规模: ");
10         int num = scanner.nextInt();
11         int[] arr = new int[num];
12         // 初始化数组
13         initArr(arr);
14         // 排序前数组
15         System.out.println("=====");

```

```

16     System.out.print("排序前: ");
17     print(arr);
18     // 排序
19     selectSort(arr);
20     // 排序后数组
21     System.out.println("=====");
22     System.out.print("排序后: ");
23     print(arr);
24 }
25
26 private static void selectSort(int[] arr) {
27     for (int i = 0; i < arr.length - 1; i++) {
28         int min = arr[i];
29         int index = i;
30         for (int j = i + 1; j < arr.length; j++) {
31             if (arr[j] == min){
32                 break;
33             }else if (arr[j] < min){
34                 min = arr[j];
35                 index = j;
36             }
37         }
38         if (!(i == index)){
39             int tmp = arr[i];
40             arr[i] = arr[index];
41             arr[index] = tmp;
42         }
43         System.out.println("第" + (i + 1) + "轮排序");
44         print(arr);
45     }
46 }
47
48 private static void print(int[] arr) {
49     System.out.println(Arrays.toString(arr));
50 }
51
52 private static void initArr(int[] arr) {
53     Random random = new Random();
54     for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
55         arr[i] = random.nextInt(10) + 1;
56     }
57 }
58 }

```

6.3 插入排序

基本思想：把 n 个待排序的元素看成一个有序表和无序表，开始时有序表只包含一个元素，无序表中包含有 $n-1$ 个元素，排序过程中每次从无序表中取出第一个元素，从有序中查找到插入的位置，将其插入到有序表的适当位置，使之成为新的有序表。

6.3.1 代码实现

未排序数组类

```

1 import java.util.Arrays;
2 import java.util.Random;
3
4 public class unSortArray {
5     private final int capacity;
6     public int[] arr;
7
8     public unSortArray(int capacity){
9         this.capacity = capacity;
10        arr = new int[this.capacity];
11        Random random = new Random();
12        for (int i = 0; i < capacity; i++) {
13            arr[i] = random.nextInt(capacity) + 1;
14        }
15    }
16    public void print(){
17        System.out.println(Arrays.toString(arr));
18    }
19 }

```

插入排序

```

1 import java.util.Scanner;
2
3 //插入排序
4 public class InsertSort {
5     public static void main(String[] args) {
6         System.out.println("请输入数据的规模: ");
7         int capacity = new Scanner(System.in).nextInt();
8         unSortArray unSortArray = new unSortArray(capacity);
9         System.out.println("-----");
10        System.out.println("排序前: ");
11        unSortArray.print();
12        //排序
13        insertSort(unSortArray.arr);
14        System.out.println("-----");
15        System.out.println("排序后: ");
16        unSortArray.print();
17    }
18    //插入排序
19    private static void insertSort(int[] arr) {
20        for (int i = 1; i < arr.length; i++) {
21            int insertVal = arr[i];
22            int index = i;
23            for (int j = 0; j < i; j++) {
24                if (arr[j] > insertVal){
25                    index = j;

```

```

26         break;
27     }
28 }
29 if (!(index == i)) {
30     for (int j = i; j > index; j--) {
31         arr[j] = arr[j - 1];
32     }
33     arr[index] = insertVal;
34 }
35 }
36 }
37 // 版本 2
38 public static void insertSort1(int[] arr){
39     if (arr.length <= 1){
40         return;
41     }
42     for (int i = 1; i < arr.length; i++) {
43         int index = i - 1;
44         int insertValue = arr[i];
45         while(index >= 0 && insertValue < arr[index]){
46             arr[index + 1] = arr[index];
47             index--;
48         }
49         if (!(index == i - 1)) {
50             arr[index] = insertValue;
51         }
52     }
53 }
54 }

```

6.4 希尔排序

6.4.1 代码实现

先分组再进行选择排序。

```

1  import java.util.Scanner;
2
3  public class ShellSort {
4      public static void main(String[] args) {
5          System.out.println("请输入问题的规模: ");
6          int capacity = new Scanner(System.in).nextInt();
7          unSortArray unSortArray = new unSortArray(capacity);
8          System.out.println("排序前: ");
9          unSortArray.print();
10         // 排序
11         shellSort2(unSortArray.arr);
12         System.out.println("-----");
13         System.out.println("排序后: ");
14         unSortArray.print();

```

```

15     }
16
17     private static void shellSort1(int[] arr) {
18         if (arr.length < 2){
19             return;
20         }
21         for (int step = arr.length/2; step > 0 ; step /= 2) {
22             //遍历各组中所有元素，每组元素有step个
23             for (int i = step; i < arr.length; i++) {
24                 //交换法：从每组的倒数第二个元素开始，与它的后一个元素比较，若大于
                //就交换，每次向前移动
25                 for (int j = i - step; j >= 0; j -= step) {
26                     if (arr[j] > arr[j + step]){
27                         int tmp = arr[j];
28                         arr[j] = arr[j + 1];
29                         arr[j + 1] = tmp;
30                     }
31                 }
32             }
33         }
34     }
35
36     //优化shell排序：移位法
37     public static void shellSort2(int[] arr){
38         if(arr.length < 2){
39             return;
40         }
41         for (int step = arr.length/2; step > 0; step /= 2) {
42             //step表示组数
43             //从第step个元素开始，对其所在的组进行插入排序
44             for (int i = step; i < arr.length; i++) {
45                 int j = i - step;
46                 int value = arr[i];
47                 while (j >= 0 && arr[j] > value){
48                     arr[j + step] = arr[j];
49                     j -= step;
50                 }
51                 if(!(j == i - step)){
52                     arr[j + step] = value;
53                 }
54             }
55         }
56     }
57 }
58

```

6.5 快速排序

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，再按此方法对这两部分进行快速排序，整个排序过程可以递归进行。

关键在于轴点的构造。

6.5.1 代码实现

```

1  import java.text.SimpleDateFormat;
2  import java.util.Date;
3  import java.util.Scanner;
4
5  public class QuickSort {
6      public static void main(String[] args) {
7          System.out.println("请输入数据的规模: ");
8          int capacity = new Scanner(System.in).nextInt();
9          unSortArray unSortArray = new unSortArray(capacity);
10         //      System.out.println("-----");
11         //      System.out.println("排序前: ");
12         //      unSortArray.print();
13         // 排序\
14         Date date1 = new Date();
15         SimpleDateFormat simpleDateFormat = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd HH:mm:ss");
16         String date1Str = simpleDateFormat.format(date1);
17         System.out.println("排序前的时间: " + date1Str);
18         quickSort(unSortArray.arr,0,unSortArray.arr.length - 1);
19         Date date2 = new Date();
20         String date2Str = simpleDateFormat.format(date2);
21         System.out.println("排序后的时间: " + date2Str);
22         //      System.out.println("-----");
23         //      System.out.println("排序后: ");
24         //      unSortArray.print();
25     }
26
27     public static void quickSort (int[] arr, int lo,int hi){
28         if(hi - lo < 1){
29             return;
30         }
31         int mid = partition(arr,lo, hi);//mid位置处的元素已就位，即轴点。
32         quickSort(arr,lo,mid - 1);//前缀排序
33         quickSort(arr,mid + 1,hi);//后缀排序
34     }
35     //构造轴点
36     private static int partition(int[] arr,int lo, int hi) {
37         int left = lo;//左指针
38         int right = hi;//右指针
39         int value = arr[lo];//轴点的值，一般取区间第一个
40         while (left < right) {
41             //如果右边的值不小于轴点，右指针左移

```



```

42         while((left < right) && value <= arr[right]){
43             right--;
44         }
45         //右边的值小于轴点的值，取出该值放入左指针所指的，同时左指针右移一个
           单位
46         if(left < right){
47             arr[left] = arr[right];
48             left++;
49         }
50         //如果左指针指的值不大于轴点值，左指针右移
51         while((left < right) && value >= arr[left]){
52             left++;
53         }
54         //左指针的值大于轴点的值，取出该值放入右指针所指的位置，同时右指针左移
55         if(left < right){
56             arr[right] = arr[left];
57             right--;
58         }
59     }
60     //循环退出的条件是左指针右指针重合，
61     // 其含义表示该位置左边的值都小于轴点，
62     // 该位置右边的值都大于轴点
63     //把轴点的值放入该位置，同时返回该位置。
64     arr[left] = value;
65     return left;
66 }
67 }

```

6.6 归并排序

利用归并的思想实现排序的方法，采用经典的分治算法。

6.6.1 代码实现

```

1  import java.text.SimpleDateFormat;
2  import java.util.Arrays;
3  import java.util.Date;
4  import java.util.Scanner;
5
6  public class MergeSort {
7      public static void main(String[] args) {
8          System.out.println("请输入数据的规模: ");
9          int capacity = new Scanner(System.in).nextInt();
10         unSortArray unSortArray = new unSortArray(capacity);
11         //         System.out.println("-----");
12         //         System.out.println("排序前: ");
13         //         unSortArray.print();
14         // 排序
15         Date date1 = new Date();

```

```

16     SimpleDateFormat simpleDateFormat = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd HH:mm
        :ss");
17     String date1Str = simpleDateFormat.format(date1);
18     System.out.println("排序前的时间: " + date1Str);
19     mergeSort(unSortArray.arr, 0, unSortArray.arr.length - 1);
20     Date date2 = new Date();
21     String date2Str = simpleDateFormat.format(date2);
22     System.out.println("排序后的时间: " + date2Str);
23     //     System.out.println("-----");
24     //     System.out.println("排序后: ");
25     //     unSortArray.print();
26     //     int[] arr = {1, 8, 4, 7, 3, 6, 5, 2};
27     //     mergeSort(arr, 0, arr.length - 1);
28 }
29
30 private static void mergeSort(int[] arr, int left, int right) {
31
32     if (right - left == 0) {
33         return;
34     }
35     int mid = left + ((right - left) >> 1);
36     mergeSort(arr, left, mid);
37     mergeSort(arr, mid + 1, right);
38     merge(arr, left, mid, right);
39 }
40
41 /**
42  * @param arr    待排序的数组
43  * @param left    左边有序的左边界
44  * @param mid    左边有序的右边界, 右边有序的左边界的前一个位置
45  * @param right  右边有序的右边界
46  */
47 private static void merge(int[] arr, int left, int mid, int right) {
48     int[] tmp = Arrays.copyOfRange(arr, left, mid + 1);
49     int lo1 = 0;
50     int lo2 = mid + 1;
51     int i = left;
52     while (lo1 < tmp.length && lo2 <= right) {
53         if (tmp[lo1] <= arr[lo2]) {
54             arr[i++] = tmp[lo1++];
55         } else {
56             arr[i++] = arr[lo2++];
57         }
58     }
59     while (i <= right) {
60         if (lo1 < tmp.length) {
61             arr[i++] = tmp[lo1++];
62         }
63         if (lo2 <= right) {
64             break;
65         }
66     }
67 }

```

```

66     }
67 }
68 }

```

6.7 基数排序

基数排序属于分配式排序，又称桶子法或 bin sort。属于稳定排序。

思想：

1. 将所有待比较数值统一为同样的长度，数位较短的数前补 0，从最低位开始，依次进行依次排序。从最低位排序一直到最高位排序完成以后，数列变成一个有序序列。

6.7.1 代码实现

```

1  import java.text.SimpleDateFormat;
2  import java.util.Date;
3  import java.util.Scanner;
4
5  public class RadixSort {
6      public static void main(String[] args) {
7          System.out.println("请输入数据的规模：");
8          int capacity = new Scanner(System.in).nextInt();
9          unSortArray unSortArray = new unSortArray(capacity);
10         //      System.out.println("-----");
11         //      System.out.println("排序前：");
12         //      unSortArray.print();
13         // 排序
14         Date date1 = new Date();
15         SimpleDateFormat simpleDateFormat = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd HH:mm:ss");
16         String date1Str = simpleDateFormat.format(date1);
17         System.out.println("排序前的时间：" + date1Str);
18         radixSort(unSortArray.arr);
19         Date date2 = new Date();
20         String date2Str = simpleDateFormat.format(date2);
21         System.out.println("排序后的时间：" + date2Str);
22         //      System.out.println("-----");
23         //      System.out.println("排序后：");
24         //      unSortArray.print();
25     }
26     public static void radixSort(int[] arr){
27         //得到数组中最大的数
28         int max = arr[0];
29         for (int i = 1; i < arr.length; i++) {
30             if (arr[i] > max){
31                 max = arr[i];
32             }
33         }
34         //得到最大位数

```

```

35     int maxLength = (" " + max).length();
36     //定义桶
37     int[][] bucket = new int[10][arr.length];
38     //记录每个桶中元素的个数
39     int[] bucketElementCount = new int[10];
40     for (int i = 0, n = 1; i < maxLength; i++ , n*=10) {
41         for (int j = 0; j < arr.length; j++) {
42             int digitOfElement = arr[j] / n % 10; //找到所在的桶
43             //第一个为所在桶的位置
44             //第二个为所在桶的指针位置
45             bucket[digitOfElement][bucketElementCount[digitOfElement]++] = arr[j];
46         }
47
48         //把桶中的数据取出放入原数组
49         int index = 0;
50         for (int j = 0; j < bucketElementCount.length; j++) {
51             if (!(bucketElementCount[j] == 0)){
52                 for (int k = 0; k < bucketElementCount[j]; k++) {
53                     arr[index++] = bucket[j][k];
54                 }
55                 //从桶中取出数据后，把该桶元素的个数归0
56                 bucketElementCount[j] = 0;
57             }
58         }
59     }
60 }
61 }

```

6.8 堆排序

6.8.1 堆

堆是具有以下性质的完全二叉树：

每个节点的值都大于等于孩子节点的值，称为大顶堆。

每个节点的值都小于等于左右孩子节点的值称为小顶堆。

6.8.2 堆排序的基本思想

1. 将待排序的序列构造成为一个大顶堆；
2. 此时，整个序列的最大值就是堆顶的根节点。
3. 将该节点与末尾元素进行交换，此时末尾就为最大值。
4. 剩余节点按照上述步骤进行。

6.8.3 批量构造二叉堆

```

1 //构建堆
2

```

```

3  /**
4   * @param arr      要构建的数组
5   * @param i        要调整的最后一个非叶子节点
6   * @param length   要调整的数组长度
7   */
8
9  public static void adjustHeap(int[] arr, int i, int length) {
10 //先取出当前元素的值，保存在临时变量中
11     int tmp = arr[i];
12     //说明
13     //1.k = i * 2 + 1是i节点的左子节点，
14     for (int j = i * 2 + 1; j < length; j = j * 2 + 1) {
15         if (j + 1 < length && arr[j] < arr[j + 1]) { //判断右子节点是否存在
16             //右子节点的值大于左子节点，把指针指向右子节点
17             j++;
18         }
19         if (arr[j] > tmp) { //孩子大于该值，就下滤
20             arr[i] = arr[j];
21             i = j; //让i指向j继续比较
22         } else {
23             break;
24         }
25     }
26     //for结束后，已经将以i为父节点的树的最大值放在了最顶上
27     arr[i] = tmp;
28 }

```

6.8.4 代码实现

```

1  public class HeapSort {
2      public static void main(String[] args) {
3          int[] arr = new int[20];
4          for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
5              arr[i] = new Random().nextInt(100) + 1;
6          }
7          System.out.println(Arrays.toString(arr));
8          heapSort(arr);
9          System.out.println(Arrays.toString(arr));
10     }
11
12     public static void heapSort(int[] arr) {
13         //先构建堆
14         //从第一个叶子节点开始往前，直到根节点
15         for (int j = (arr.length - 1 - 1) / 2; j >= 0; j--) {
16             adjustHeap(arr, j, arr.length);
17         }
18
19         for (int i = arr.length - 1; i > 0; i--) {
20             //上边构建堆后堆顶元素必然是最大，将其与尾元素进行交换
21             int tmp = arr[0];

```

```
22         arr[0] = arr[i];
23         arr[i] = tmp;
24         //交换后不满足堆序性，重新建堆
25         adjustHeap(arr, 0, i);
26     }
27 }
28 }
```

第七章 查找相关算法

7.1 顺序查找

7.1.1 代码实现

```
1 import java.util.Arrays;
2 import java.util.Scanner;
3
4 public class SeqSearch {
5     public static void main(String[] args) {
6         int[] arr = new Array(10).arr;
7         System.out.println(Arrays.toString(arr));
8         System.out.println("请输入要查找的数: ");
9         int num = new Scanner(System.in).nextInt();
10        int ret = seqSearch(arr,num);
11        if (ret == -1){
12            System.out.println("未找到! ");
13        }else {
14            System.out.println("该元素下标为" + ret);
15        }
16
17    }
18    //找到第一个满足条件的下标
19    public static int seqSearch(int[] arr,int value){
20        for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
21            if (arr[i] == value){
22                return i;
23            }
24        }
25        return -1;
26    }
27 }
```

7.2 二分查找

7.2.1 要求

有序数组。

7.2.2 代码实现

```
1 import java.util.Arrays;
2
3 public class BinarySearch {
4     public static void main(String[] args) {
5         int[] arr = {2,8,10,89,89,89,89,1000,1234};
6         int target = 1;
```

```

7      System.out.println(binarySearch(arr,0,arr.length - 1,target));
8      System.out.println(binarySearch1(arr,target));
9      System.out.println(Arrays.toString(binarySearch2(arr,target)));
10     System.out.println(insert(arr,target));
11 }
12 //递归版本
13 public static int binarySearch(int[] arr,int lo,int hi,int value){
14     if (lo > hi){
15         return -1;
16     }
17     int mid = lo + ((hi - lo) >> 1);
18     int midValue = arr[mid];
19     if(midValue < value){
20         return binarySearch(arr,mid + 1,hi,value);
21     }else if(value < midValue){
22         return binarySearch(arr,lo,mid - 1,value);
23     }else{
24         return mid;
25     }
26 }
27 //迭代版本
28 public static int binarySearch1(int[] arr,int value){
29     int lo = 0;
30     int hi = arr.length;
31     while (lo <= hi){
32         int mid = lo + ((hi - lo) >> 1);
33         if(value < arr[mid]){
34             hi = mid - 1;
35         }else if(value > arr[mid]){
36             lo = mid + 1;
37         }else{
38             return mid;
39         }
40     }
41     return -1;
42 }
43
44 //寻找插入值
45 //如果元素存在，返回该元素最后一个所在的位置
46 //如果元素不存在，返回其插入位置的前一个位置
47 public static int insert(int[] arr,int target){
48     int lo = 0;
49     int hi = arr.length;
50     while (lo <= hi){
51         int mid = lo + ((hi - lo) >> 1);
52         if(target < arr[mid]){
53             hi = mid - 1;
54         }else if(target > arr[mid]){
55             lo = mid + 1;
56         }else{
57             return findLast(arr,target);

```



```
58     }
59 }
60 return lo - 1;
61 }
62
63 //找到数组中所有的目标值元素，返回其范围
64 //没有则返回[-1,-1]
65 public static int[] binarySearch2(int[] arr,int target){
66     return new int[]{findFirst(arr,target),findLast(arr,target)};
67 }
68
69 private static int findLast(int[] arr, int target) {
70     int lo = 0;
71     int hi = arr.length;
72     while (lo <= hi){
73         int mid = lo + ((hi - lo) >> 1);
74         if(target < arr[mid]){
75             hi = mid - 1;
76         }else if(target > arr[mid]){
77             lo = mid + 1;
78         }else{
79             if(mid == arr.length - 1 || arr[mid + 1] != target){
80                 return mid;
81             }else{
82                 lo = mid + 1;
83             }
84         }
85     }
86     return -1;
87 }
88
89 private static int findFirst(int[] arr, int target) {
90     int lo = 0;
91     int hi = arr.length;
92     while (lo <= hi){
93         int mid = lo + ((hi - lo) >> 1);
94         if(target < arr[mid]){
95             hi = mid - 1;
96         }else if(target > arr[mid]){
97             lo = mid + 1;
98         }else{
99             if(mid == 0 || arr[mid - 1] != target){
100                 return mid;
101             }else{
102                 hi = mid - 1;
103             }
104         }
105     }
106     return -1;
107 }
108 }
```

7.3 插值查找算法

插值查找算法的 `mid` 公式：

$$mid = low + \frac{key - a[low]}{a[high] - a[low]}(high - low)$$

7.3.1 注意事项

1. 对于数据量大，关键字分布比较均匀的查找表来说，采用插值查找速度较快。
2. 关键字分布不均匀的情况下，该方法不一定比折半查找要好。

7.3.2 代码实现

```
1 public class InsertSearch {
2     static int count;
3     public static void main(String[] args) {
4         int[] arr = new int[1000];
5         for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
6             arr[i] = i + 1;
7         }
8         int ret = insertSearch(arr,7);
9         System.out.println(ret);
10        System.out.println(count);
11    }
12
13    public static int insertSearch(int[] arr,int target){
14        if (target < arr[0] || target > arr[arr.length - 1]){
15            return -1;
16        }
17        int lo = 0;
18        int hi = arr.length - 1;
19        while(lo <= hi){
20            int mid = lo + (hi - lo)*(target - arr[lo])/(arr[hi] - arr[lo]);
21            count++;
22            if(target < arr[mid]){
23                hi = mid - 1;
24            }else if(arr[mid] < target){
25                lo = mid + 1;
26            }else{
27                return mid;
28            }
29        }
30        return -1;
31    }
32 }
```

7.4 斐波那契（黄金分割）查找算法

$$mid = lo + F(k - 1) - 1$$

顺序表的长度不一定刚好等于 $F(k) - 1$ ，所以需要将原来的顺序表长度增加至 $F(k) - 1$ 。这里 k 值只要能使 $F(k) - 1$ ，恰好大于或等于顺序表的长度即可。

```
1 while(F(k) - 1 < arr.length){
2     k++;
3 }
```

7.4.1 代码实现

```
1 import java.util.Arrays;
2 import java.util.Random;
3 import java.util.Scanner;
4
5 public class FibSearch {
6     public static void main(String[] args) {
7         // int[] arr = {1,8,10,89,1000,1234,1235};
8         int num = new Random().nextInt(100)+ 10;
9         int[] arr = new int[num];
10        for (int i = 0; i < num; i++) {
11            arr[i] = new Random().nextInt(100)+ 10;
12        }
13        radixSort(arr);
14        System.out.println(Arrays.toString(arr));
15        System.out.println("请输入要查找的数: ");
16        int target = new Scanner(System.in).nextInt();
17        int ret = fibSearch(arr,target);
18        System.out.println(ret);
19    }
20
21    //mid = low + fib(k - 1) - 1;
22    public static int fibSearch(int[] arr,int target){
23        int lo = 0;
24        int hi = arr.length - 1;
25        int len = arr.length;
26        int k = 0;//表示斐波那契数列分割数值下标
27        int mid = 0;
28        int[] fib = fib(arr.length);//获取斐波那契数列
29        //获取斐波那契数列分割数值的下标
30        while (fib[k] - 1 < arr.length){
31            k++;
32        }
33        //如果数组长度小于斐波那契数列数 - 1的值，把数组扩容至斐波那契数列数 - 1
34        if (!(fib[k] - 1 == arr.length)){
35            int[] arrTmp = Arrays.copyOf(arr,fib[k] - 1);
36            for (int i = arr.length; i < fib[k] - 1; i++) {
```

```
37         //扩容部分的数为原数组最后一个元素
38         arrTmp[i] = arr[arr.length - 1];
39     }
40     arr = arrTmp;
41 }
42 while (lo <= hi) {
43     //数组长度为fib(k) - 1
44     //mid把数组分为左边是fib(k - 1) - 1
45     //右边长度是fib(k - 2) - 1
46     //fib(k) - 1 = fib(k - 1) - 1 + fib(k - 2) - 1 + 1
47     mid = lo + fib[k - 1] - 1;
48
49     if (target < arr[mid]) {
50         hi = mid - 1;
51         k--;
52     } else if (arr[mid] < target) {
53         lo = mid + 1;
54         k -= 2;
55     } else {
56         if (mid >= len) {
57             return len - 1;
58         }
59         return mid;
60     }
61 }
62 return -1;
63 }
64
65 public static int[] fib(int n){
66     int[] arr = new int[n];
67     if (n == 1){
68         arr[0] = 1;
69         return arr;
70     }
71     arr[0] = 1;
72     if (n == 2){
73         arr[1] = 1;
74         return arr;
75     }
76     arr[1] = 1;
77     for (int i = 2; i < n; i++) {
78         arr[i] = arr[i - 1] + arr[i - 2];
79     }
80     return arr;
81 }
82 }
```

第八章 哈希表（散列表）hash

一个上机题：

某公司，当员工来报道时，要求将该员工的信息加入（id，姓名），当输入该员工的 id 时，要求查找该员工所有信息。

要求：不使用数据库，速度越快越好（可以使用哈希表）

添加时，保证按照 id 从低到高的顺序插入。

8.0.1 散列函数

决定值对应哪个桶

哈希表是一个链表数组，即数组中的每个元素都是一个链表。该链表的引用指向的是有效节点。

8.1 代码实现

```
1 import java.util.Scanner;
2
3 public class HashTableDemo {
4     public static void main(String[] args) {
5         // 测试
6         // 创建一个hash表
7         HashTable hashTable = new HashTable(7);
8
9         boolean flag = true;
10        while (flag){
11            System.out.println("-----");
12            System.out.println("a(add): 添加雇员！");
13            System.out.println("l(list): 显示雇员！");
14            System.out.println("f(find): 查找雇员！");
15            System.out.println("d(del): 删除雇员");
16            System.out.println("r(remove): 清空全部信息！");
17            System.out.println("e(exit): 退出程序！");
18            System.out.println("请输入选择：");
19            String select = new Scanner(System.in).next();
20            switch (select){
21                case "e":
22                    System.out.println("程序退出！");
23                    flag = false;
24                    break;
25                case "a":
26                    System.out.println("请输入员工id：");
27                    int id = new Scanner(System.in).nextInt();
28                    System.out.println("请输入员工姓名：");
29                    String name = new Scanner(System.in).next();
30                    Employee employee = new Employee(id,name);
31                    hashTable.add(employee);
32                    break;
33                case "l":
```

```

34         hashTable.list();
35         break;
36     case "f":
37         System.out.println("请输入要查找的雇员ID: ");
38         int findId = new Scanner(System.in).nextInt();
39         Employee findEmployee = hashTable.findEmployeeById(findId);
40         if (findEmployee == null){
41             System.out.println("未找到该id对应的员工");
42         }else{
43             System.out.println(findEmployee);
44         }
45         break;
46     case "d":
47         System.out.println("请输入要删除的雇员ID: ");
48         int delId = new Scanner(System.in).nextInt();
49         hashTable.delEmployeeById(delId);
50         break;
51     case "r":
52         hashTable.removeAll();
53         break;
54     default:
55         System.out.println("输入错误, 请重新输入: ");
56         break;
57     }
58 }
59 }
60 }
61 //一个雇员
62 class Employee{
63     private int id;
64     private String name;
65     public Employee next;
66     public Employee(){
67
68     }
69     public Employee(int id,String name){
70         this.id = id;
71         this.name = name;
72     }
73
74     public int getId() {
75         return id;
76     }
77
78     @Override
79     public String toString() {
80         return "(id:" + id +
81             ", name=" + name + ")";
82     }
83 }
84

```

```

85 //创建employeeLinkedList，表示一条链表
86 class EmployLinkedList{
87     private Employee head;
88
89     //添加雇员到链表
90     //添加雇员时，id总是增长的
91     //所以把雇员添加在链表的末尾
92     public void add(Employee employee){
93         if (head == null){
94             head = employee;
95             return;
96         }
97         Employee preEmployee = head;
98         while(preEmployee.next != null){
99             preEmployee = preEmployee.next;
100         }
101         preEmployee.next = employee;
102     }
103
104     //删除雇员
105     public void delEmployeeById(int id){
106         Employee preEmployee = new Employee();
107         Employee tmpEmployee;
108         preEmployee.next = head;
109         tmpEmployee = preEmployee;
110         while(preEmployee.next != null){
111             if (preEmployee.next.getId() == id){
112                 System.out.println("要删除的员工为：");
113                 System.out.println(preEmployee.next);
114                 preEmployee.next = preEmployee.next.next;
115                 head = tmpEmployee.next;
116                 System.out.println("系统提示：删除成功");
117                 return;
118             }
119             preEmployee = preEmployee.next;
120         }
121         System.out.println("该雇员不在此表中，无法删除！");
122         System.out.println("系统提示：删除失败");
123     }
124
125     public Employee getHead() {
126         return head;
127     }
128
129     public void setHead(Employee head) {
130         this.head = head;
131     }
132
133     //遍历链表的信息
134     public void list(){
135         if (head == null){

```

```

136         System.out.print("[]");
137         return;
138     }
139
140     Employee curEmployee = head;
141     System.out.print("[");
142     while (curEmployee != null){
143         System.out.print(curEmployee.toString());
144         if (curEmployee.next != null){
145             System.out.print(",");
146         }
147         curEmployee = curEmployee.next;
148     }
149     System.out.print("]");
150 }
151
152 //查找某个员工
153 public Employee findEmployeeById(int id){
154     Employee curEmployee = head;
155
156     while (curEmployee != null && curEmployee.getId() != id){
157         curEmployee = curEmployee.next;
158     }
159     if (curEmployee != null){
160         return curEmployee;
161     }
162     return curEmployee;
163 }
164 }
165
166 //创建哈希表
167 class HashTable{
168     private final int capacity;
169     EmployLinkedList[] employLinkedLists;
170     //构造方法
171     public HashTable(int capacity){
172         this.capacity = capacity;
173         employLinkedLists = new EmployLinkedList[this.capacity];
174         //此时该数组的每个元素都是null;要进行初始化
175         for (int i = 0; i < capacity; i++) {
176             employLinkedLists[i] = new EmployLinkedList();
177         }
178     }
179     public void add(Employee employee){
180         //根据员工的id,得到该员工应当添加到哪条链表
181         employLinkedLists[hash(employee.getId())].add(employee);
182     }
183 }
184
185 public void list(){
186     System.out.print("{");

```



```

187         for (int i = 0; i < capacity; i++) {
188             employLinkedLists[i].list();
189             if (i != capacity - 1){
190                 System.out.print(",");
191             }
192         }
193         System.out.println("}");
194     }
195
196     public Employee findEmployeeById(int id){
197         return employLinkedLists[hash(id)].findEmployeeById(id);
198     }
199
200     public void delEmployeeById(int id){
201         employLinkedLists[hash(id)].delEmployeeById(id);
202     }
203
204     public void removeAll(){
205         System.out.println("系统提示：清空所有信息，此操作不可撤销，是否真的要删除？（Y：删除，N：取消）");
206         String str = new Scanner(System.in).next();
207         if ("Y".equalsIgnoreCase(str)){
208             System.out.println("请再次确认是否要清空所有信息：（Y：确认，N：取消）");
209             str = new Scanner(System.in).next();
210             if (!("Y".equalsIgnoreCase(str))){
211                 return;
212             }
213             for (int i = 0; i < capacity; i++) {
214                 employLinkedLists[i].setHead(null);
215             }
216             System.out.println("系统提示：全部员工信息已删除！");
217         }else{
218             return;
219         }
220     }
221 }
222
223 //编写散列函数：使用取模法来完成
224 public int hash(int id){
225     return id % this.capacity;
226 }
227
228 }

```

第九章 树

9.1 常用术语

节点：

根节点：没有父节点的节点

子节点：

叶子结点：没有孩子的节点

节点的权：

路径：从根节点找到该节点的路线

层：根节点为第一层，孩子为第二层，孙子为第三层，依次类推。

子树：

树的高度：

路径：一棵树中，从一个节点往下可以达到的孩子或孙子节点之间的通路称为路径。

路径长度：通路中分支数目称为路径长度，若规定根节点层数为 1，则从根节点到第 L 层节点的路径长度为 $L-1$ 。

节点的权：若将树中节点的赋予一个含有某种含义的数值，称该数值为该节点的权。

节点带权路径长度：从根节点到该节点之间的路径长度与该节点的权的乘积。

树的带权路径长度：树的带权路径长度规定为所有叶子节点的带权路径长度之和，记为 WPL (Weighted Path Length)，权值越大的节点离根节点越近的二叉树才是最优二叉树。

9.2 二叉树

每个节点最多只能有两个孩子。

满二叉树：所有叶子节点都在最后一层。节点总数为 $2^n - 1$ ， n 为层数。

完全二叉树：所有叶子结点都在最后一层或倒数第二层，且最后一层的叶子节点在左边连续，倒数第二层的叶子结点在右边连续。

一棵深度为 k 的有 n 个结点的二叉树，对树中的结点按从上至下、从左到右的顺序进行编号，如果编号为 i ($1 \leq i \leq n$) 的结点与满二叉树中编号为 i 的结点在二叉树中的位置相同，则这棵二叉树称为完全二叉树。

9.2.1 二叉树的遍历

9.2.1.1 前序遍历

前序遍历即先遍历父节点，然后左子树，然后右子树。

9.2.1.2 中序遍历

先遍历左子树，再遍历父节点，再遍历右子树。

9.2.1.3 后序遍历

先遍历左子树，再遍历右子树，再遍历父节点。

9.2.1.4 代码实现

```

1 public class BinaryTreeDemo {
2     public static void main(String[] args) {
3         BinaryTree binaryTree = new BinaryTree();
4         TreeNode treeNodeRoot = new TreeNode(1, "宋江");
5         TreeNode treeNode1 = new TreeNode(2, "吴用");
6         TreeNode treeNode2 = new TreeNode(3, "卢俊义");
7         TreeNode treeNode3 = new TreeNode(4, "林冲");
8         TreeNode treeNode4 = new TreeNode(5, "关胜");
9         binaryTree.setRoot(treeNodeRoot);
10        addLeft(treeNodeRoot, treeNode1);
11        addRight(treeNodeRoot, treeNode2);
12        addRight(treeNode2, treeNode3);
13        addLeft(treeNode2, treeNode4);
14
15        System.out.println("-----");
16        binaryTree.preOrder();
17        System.out.println("-----");
18        binaryTree.infixOrder();
19        System.out.println("-----");
20        binaryTree.postOrder();
21
22    }
23
24    // 插入左孩子
25    public static void addLeft(TreeNode parentNode, TreeNode leftNode) {
26        if (parentNode.leftChild != null) {
27            System.out.println("该节点有左孩子，无法插入");
28            return;
29        }
30        parentNode.leftChild = leftNode;
31        leftNode.parent = parentNode;
32    }
33
34    // 插入右孩子
35    public static void addRight(TreeNode parentNode, TreeNode rightNode) {
36        if (parentNode.rightChild != null) {
37            System.out.println("该节点有左孩子，无法插入");
38            return;
39        }
40        parentNode.rightChild = rightNode;
41        rightNode.parent = parentNode;
42    }
43 }
44
45 class BinaryTree {
46     private TreeNode root;
47
48     // 前序遍历

```

```
49     public void preOrder() {
50         System.out.println("前序遍历的结果为: ");
51         if (this.root == null) {
52             System.out.println("{}");
53             return;
54         }
55         this.root.preOrder();
56     }
57
58     // 中序遍历
59     public void infixOrder() {
60         System.out.println("中序遍历的结果为: ");
61         if (this.root == null) {
62             System.out.println("{}");
63             return;
64         }
65         this.root.infixOrder();
66     }
67
68     // 后序遍历
69     public void postOrder() {
70         System.out.println("后序遍历的结果为: ");
71         if (this.root == null) {
72             System.out.println("{}");
73             return;
74         }
75         this.root.postOrder();
76     }
77
78
79     public TreeNode getRoot() {
80         return root;
81     }
82
83     public void setRoot(TreeNode root) {
84         this.root = root;
85     }
86 }
87
88 class TreeNode {
89     private int num;
90     private String name;
91     public TreeNode leftChild;
92     public TreeNode rightChild;
93     public TreeNode parent;
94
95     public TreeNode() {
96
97     }
98
99     public TreeNode(int num, String name) {
```

```
100     this.num = num;
101     this.name = name;
102 }
103
104 public int getNum() {
105     return num;
106 }
107
108 public void setNum(int num) {
109     this.num = num;
110 }
111
112 @Override
113 public String toString() {
114     return "TreeNode{" +
115         "num=" + num +
116         ", name='" + name + '\'' +
117         '}';
118 }
119
120 //前序遍历的方法,迭代法
121 public void preOrder() {
122     System.out.println(this);
123     if (!(this.leftChild == null)) {
124         this.leftChild.preOrder();
125     }
126     if (!(this.rightChild == null)) {
127         this.rightChild.preOrder();
128     }
129 }
130
131 //中序遍历: 递归法
132 public void infixOrder() {
133     if (!(this.leftChild == null)) {
134         this.leftChild.infixOrder();
135     }
136     System.out.println(this);
137     if (!(this.rightChild == null)) {
138         this.rightChild.infixOrder();
139     }
140 }
141
142 //后序遍历
143 public void postOrder() {
144     if (!(this.leftChild == null)) {
145         this.leftChild.postOrder();
146     }
147
148     if (!(this.rightChild == null)) {
149         this.rightChild.postOrder();
150     }
```

```

151     System.out.println(this);
152 }
153 }

```

9.2.2 查找指定节点

要求：编写前序、中序、后序查找方法。

分别使用三中查找方式，查找指定节点。

分析各种查找方式分别比较了多少次。

前序查找思路：

- 先判断当前节点的 num 是否等于要查找的。
- 如果相等，返回当前节点。
- 不相等，则判断当前左子节点是否为空，如果不为空，则递归前序查找。
- 左递归找到目标节点，返回目标节点，找不到就右子树递归查找。

9.2.2.1 代码实现

```

1  public class BinaryTreeDemo {
2      public static void main(String[] args) {
3          BinaryTree binaryTree = new BinaryTree();
4          TreeNode treeNodeRoot = new TreeNode(1, "宋江");
5          TreeNode treeNode1 = new TreeNode(2, "吴用");
6          TreeNode treeNode2 = new TreeNode(3, "卢俊义");
7          TreeNode treeNode3 = new TreeNode(4, "林冲");
8          TreeNode treeNode4 = new TreeNode(5, "关胜");
9          binaryTree.setRoot(treeNodeRoot);
10         addLeft(treeNodeRoot, treeNode1);
11         addRight(treeNodeRoot, treeNode2);
12         addRight(treeNode2, treeNode3);
13         addLeft(treeNode2, treeNode4);
14
15         System.out.println("-----");
16         binaryTree.preOrder();
17         System.out.println("-----");
18         binaryTree.infixOrder();
19         System.out.println("-----");
20         binaryTree.postOrder();
21         System.out.println("-----");
22         int target = 0;
23         System.out.println(binaryTree.preOrderSearch(target));;
24         System.out.println("-----");
25         System.out.println(binaryTree.infixOrderSearch(target));;
26         System.out.println("-----");
27         System.out.println(binaryTree.postOrderSearch(target));;
28
29     }

```

```
30
31 //插入左孩子
32 public static void addLeft(TreeNode parentNode, TreeNode leftNode) {
33     if (parentNode.leftChild != null) {
34         System.out.println("该节点有左孩子，无法插入");
35         return;
36     }
37     parentNode.leftChild = leftNode;
38     leftNode.parent = parentNode;
39 }
40
41 //插入右孩子
42 public static void addRight(TreeNode parentNode, TreeNode rightNode) {
43     if (parentNode.rightChild != null) {
44         System.out.println("该节点有左孩子，无法插入");
45         return;
46     }
47     parentNode.rightChild = rightNode;
48     rightNode.parent = parentNode;
49 }
50 }
51
52 class BinaryTree {
53     private TreeNode root;
54
55     //前序遍历
56     public void preOrder() {
57         System.out.println("前序遍历的结果为：");
58         if (this.root == null) {
59             System.out.println("{}");
60             return;
61         }
62         this.root.preOrder();
63     }
64
65     public TreeNode preOrderSearch(int target) {
66         return root.preOrderSearch(target);
67     }
68
69     //中序遍历
70     public void infixOrder() {
71         System.out.println("中序遍历的结果为：");
72         if (this.root == null) {
73             System.out.println("{}");
74             return;
75         }
76         this.root.infixOrder();
77     }
78
79     public TreeNode infixOrderSearch(int target) {
80         return root.infixOrderSearch(target);
```

```
81     }
82
83     // 后序遍历
84     public void postOrder() {
85         System.out.println("后序遍历的结果为: ");
86         if (this.root == null) {
87             System.out.println("{}");
88             return;
89         }
90         this.root.postOrder();
91     }
92
93     public TreeNode postOrderSearch(int target) {
94         return root.postOrderSearch(target);
95     }
96
97     public TreeNode getRoot() {
98         return root;
99     }
100
101     public void setRoot(TreeNode root) {
102         this.root = root;
103     }
104 }
105
106 class TreeNode {
107     private int num;
108     private String name;
109     public TreeNode leftChild;
110     public TreeNode rightChild;
111     public TreeNode parent;
112
113     public TreeNode() {
114
115     }
116
117     public TreeNode(int num, String name) {
118         this.num = num;
119         this.name = name;
120     }
121
122     public int getNum() {
123         return num;
124     }
125
126     public void setNum(int num) {
127         this.num = num;
128     }
129
130     @Override
131     public String toString() {
```



```
132         return "TreeNode{" +
133             "num=" + num +
134             ", name='" + name + '\\\' +
135             '\'';
136     }
137
138     //前序遍历的方法,迭代法
139     public void preOrder() {
140         System.out.println(this);
141         if (!(this.leftChild == null)) {
142             this.leftChild.preOrder();
143         }
144         if (!(this.rightChild == null)) {
145             this.rightChild.preOrder();
146         }
147     }
148
149     //前序遍历查找指定节点
150
151     /**
152      * @param target 目标编号
153      * @return 返回对应节点
154      */
155     public TreeNode preOrderSearch(int target) {
156         if (this == null || this.num == target) {
157             return this;
158         }
159         TreeNode targetNode = null;
160         if (!(this.leftChild == null)) {
161             targetNode = this.leftChild.preOrderSearch(target);
162         }
163         if (targetNode != null) {
164             return targetNode;
165         }
166         if (!(this.rightChild == null)) {
167             targetNode = this.rightChild.preOrderSearch(target);
168         }
169         return targetNode;
170     }
171
172     //中序遍历:递归法
173     public void infixOrder() {
174         if (!(this.leftChild == null)) {
175             this.leftChild.infixOrder();
176         }
177         System.out.println(this);
178         if (!(this.rightChild == null)) {
179             this.rightChild.infixOrder();
180         }
181     }
182
```

```
183 //中序遍历查找
184 public TreeNode infixOrderSearch(int target) {
185     if (this == null) {
186         return this;
187     }
188     TreeNode targetNode = null;
189     if (!(this.leftChild == null)) {
190         targetNode = this.leftChild.infixOrderSearch(target);
191     }
192     if (targetNode != null) {
193         return targetNode;
194     }
195     if (this.num == target) {
196         return this;
197     }
198     if (!(this.rightChild == null)) {
199         targetNode = this.rightChild.infixOrderSearch(target);
200     }
201     return targetNode;
202 }
203
204 //后序遍历
205 public void postOrder() {
206     if (!(this.leftChild == null)) {
207         this.leftChild.postOrder();
208     }
209
210     if (!(this.rightChild == null)) {
211         this.rightChild.postOrder();
212     }
213     System.out.println(this);
214 }
215
216 public TreeNode postOrderSearch(int target) {
217     if (this == null) {
218         return this;
219     }
220     TreeNode targetNode = null;
221     if (!(this.leftChild == null)) {
222         targetNode = this.leftChild.postOrderSearch(target);
223     }
224     if (!(targetNode == null)) {
225         return targetNode;
226     }
227     if (!(this.rightChild == null)) {
228         targetNode = this.rightChild.postOrderSearch(target);
229     }
230     if (!(targetNode == null)) {
231         return targetNode;
232     }
233     if (this.num == target) {
```

```

234         return this;
235     }
236     return targetNode;
237 }
238 }

```

9.2.3 删除节点

要求：

- 如果删除的是叶子节点，则删除该节点
- 如果删除的是非叶子节点，则删除该子树

思路：

- 对于单向的二叉树，应当判断当前节点的子节点是否为待删除节点
- 如果树是空树，不用删除，如果只有一个 root 节点，且是目标元素，不用删除，是目标元素，等价于将树置空。
- 当前节点左子节点不为空，判断该左子节点是否为要删除的节点如果是，将当前节点的左孩子引用置为 null, 并且返回。
- 否则，如果当前节点的右子节点不为空，判断该右子节点是否为要删除的节点，如果是，将当前节点的右孩子引用置为空，并且返回。
- 如果上边两步没有删除节点，则需要向左子树进行递归删除。
- 否则就向右子树递归删除。

9.2.3.1 代码实现

```

1  public class BinaryTreeDemo {
2      public static void main(String[] args) {
3          BinaryTree binaryTree = new BinaryTree();
4          TreeNode treeNodeRoot = new TreeNode(1, "宋江");
5          TreeNode treeNode1 = new TreeNode(2, "吴用");
6          TreeNode treeNode2 = new TreeNode(3, "卢俊义");
7          TreeNode treeNode3 = new TreeNode(4, "林冲");
8          TreeNode treeNode4 = new TreeNode(5, "关胜");
9          binaryTree.setRoot(treeNodeRoot);
10         addLeft(treeNodeRoot, treeNode1);
11         addRight(treeNodeRoot, treeNode2);
12         addRight(treeNode2, treeNode3);
13         addLeft(treeNode2, treeNode4);
14
15         System.out.println("-----");
16         System.out.println("删除前：前序遍历");
17         binaryTree.preOrder();
18         // 删除
19         int del = 5;

```

```
20     binaryTree.delNode2(del);
21     System.out.println("-----");
22     System.out.println("删除后：前序遍历");
23     binaryTree.preOrder();
24 }
25
26 //插入左孩子
27
28 //插入右孩子
29
30 }
31
32 class BinaryTree {
33     private TreeNode root;
34
35     //删除1
36     public void delNode1(int del){
37         if (root == null){
38             System.out.println("系统提示：空树，无法删除！");
39             System.out.println("删除失败！");
40             return;
41         }
42         if (root.getNum() == del){
43             System.out.println("删除成功！");
44             root = null;
45             return;
46         }
47         root.delTreeNode(del);
48
49     }
50     //删除2
51     public void delNode2(int del){
52         TreeNode tmpNode = new TreeNode();
53         tmpNode.leftChild = root;
54         tmpNode.delTreeNode(del);
55         root = tmpNode.leftChild;
56
57     }
58     //前序遍历
59
60
61     //中序遍历
62
63     //后序遍历
64
65 }
66
67 class TreeNode {
68     private int num;
69     private String name;
70     public TreeNode leftChild;
```

```

71     public TreeNode rightChild;
72     public TreeNode parent;
73
74
75
76     //删除节点
77     //假设不是空树
78     public void delTreeNode(int del){
79         if (this.leftChild != null){
80             if (this.leftChild.num == del){
81                 this.leftChild = null;
82                 return;
83             }
84         }
85         if (this.rightChild != null){
86             if (this.rightChild.num == del){
87                 this.rightChild = null;
88                 return;
89             }
90         }
91         if (this.leftChild != null) {
92             this.leftChild.delTreeNode(del);
93         }
94         if (this.rightChild != null) {
95             this.rightChild.delTreeNode(del);
96         }
97     }
98
99
100    //前序遍历的方法,迭代法
101
102    //前序遍历查找指定节点
103
104    //中序遍历:递归法
105
106    //中序遍历查找
107
108    //后序遍历
109
110 }

```

9.3 顺序存储二叉树

从数据存储来看,数组的存储方式和树的存储方式可以相互转换,即数组可以转换成树,树也可以转换成数组。

要求:

- 以数组的方式来存放数据。
- 要求遍历数组时,仍然可以以前序、中序、后序遍历的方式完成节点的遍历。

9.3.1 顺序存储二叉树的特点

1. 该二叉树是完全二叉树。
2. 第 n 个元素的左子节点为 $2n + 1$ ，右子节点为 $2n + 2$
3. 第 n 个元素的父节点为 $\frac{n-1}{2}$
4. n 表示二叉树中的第几个元素（从 0 开始）

9.3.2 代码实现

```

1 public class ArrBinaryTreeDemo {
2     public static void main(String[] args) {
3         int[] arr = {1,2,3,4,5,6,7,8};
4         ArrBinaryTree arrBinaryTree = new ArrBinaryTree(arr);
5         int index = 0;
6         System.out.println("先序");
7         arrBinaryTree.preOrder();
8         System.out.println("中序");
9         arrBinaryTree.infixOrder();
10        System.out.println("后序");
11        arrBinaryTree.postOrder();
12    }
13 }
14 class ArrBinaryTree{
15     private int[] arr;
16
17     public ArrBinaryTree(int[] arr){
18         this.arr = arr;
19     }
20
21     //编写一个方法，完成顺序存储二叉树的遍历
22     //先序
23     public void preOrder(){
24         preOrder(0);
25     }
26     public void preOrder(int index){
27         if (arr == null || arr.length == 0){
28             System.out.println("[]");
29             return;
30         }
31         System.out.println(arr[index]);
32         int l = 2*index + 1;
33         if(l < arr.length){
34             preOrder(l);
35         }
36         int r = 2*index+2;
37         if (r < arr.length){
38             preOrder(r);
39         }
40     }
41     //中序

```

```

42     public void infixOrder(){
43         infixOrder(0);
44     }
45     public void infixOrder(int index){
46         if (arr == null || arr.length == 0){
47             return;
48         }
49         if (2*index + 1 < arr.length){
50             infixOrder(2*index+1);
51         }
52         System.out.println(arr[index]);
53         if (2*index + 2 < arr.length){
54             infixOrder(2*index+2);
55         }
56     }
57
58     //后序
59     public void postOrder(){
60         postOrder(0);
61     }
62     public void postOrder(int index){
63         if (arr == null || arr.length == 0){
64             return;
65         }
66         if (2*index + 1 < arr.length){
67             postOrder(2*index+1);
68         }
69         if (2*index + 2 < arr.length){
70             postOrder(2*index+2);
71         }
72         System.out.println(arr[index]);
73     }
74 }

```

9.4 线索化二叉树

9.4.1 基本介绍

1. n 个节点的二叉链表（完全二叉树）中含有 $n+1$ 个空指针域，利用二叉链表的空指针域，存放指向该节点在某种遍历次序下的前驱和后继节点的指针，这种附加的指针称为线索。

2. 根据线索性质得不同，线索二叉树可以分为前序线索二叉树、中序线索二叉树、后序线索二叉树。

9.4.2 中序线索二叉树

线索化二叉树后，节点的 left 和 right，有如下两种情况：

- left 指向的是左子树，也可能指向前驱结点。
- right 指向的是右子树，也可能指向后继节点。

- left 为空，则该节点一定是遍历结果的第一个节点。
- right 为空，则该节点一定是遍历结果的最后一个节点。

9.4.3 代码实现

```

1 package com.atWSN.tree;
2
3 public class ThreadedBinaryTreeDemo {
4     public static void main(String[] args) {
5         TreeNode1 root = new TreeNode1(1, "tom");
6         TreeNode1 node1 = new TreeNode1(3, "jack");
7         TreeNode1 node2 = new TreeNode1(6, "smith");
8         TreeNode1 node3 = new TreeNode1(8, "marry");
9         TreeNode1 node4 = new TreeNode1(10, "king");
10        TreeNode1 node5 = new TreeNode1(14, "dim");
11        root.leftChild = node1;
12        node1.leftChild = node3;
13        node1.rightChild = node4;
14        root.rightChild = node2;
15        node2.leftChild = node5;
16        ThreadedBinaryTree treeNode1 = new ThreadedBinaryTree();
17        treeNode1.setRoot(root);
18        treeNode1.threadedNodes();
19        System.out.println(node4.leftChild);
20        System.out.println(node4.rightChild);
21    }
22 }
23
24 class ThreadedBinaryTree{
25     private TreeNode1 root;
26     //为了实现线索化，需要一个指向当前节点前驱结点的引用
27     //在递归过程中，preNode始终指向该节点的前驱结点
28     private TreeNode1 preNode = null;
29     //删除1
30     public void delNode1(int del){
31         if (root == null){
32             System.out.println("系统提示：空树，无法删除！");
33             System.out.println("删除失败！");
34             return;
35         }
36         if (root.getNum() == del){
37             System.out.println("删除成功！");
38             root = null;
39             return;
40         }
41         root.delTreeNode(del);
42
43     }
44     //删除2
45     public void delNode2(int del){

```



```
46     TreeNode1 tmpNode = new TreeNode1();
47     tmpNode.leftChild = root;
48     tmpNode.delTreeNode(del);
49     root = tmpNode.leftChild;
50
51 }
52 // 前序遍历
53 public void preOrder() {
54     System.out.println("前序遍历的结果为: ");
55     if (this.root == null) {
56         System.out.println("{}");
57         return;
58     }
59     this.root.preOrder();
60 }
61
62 public TreeNode1 preOrderSearch(int target) {
63     return root.preOrderSearch(target);
64 }
65
66 // 中序遍历
67 public void infixOrder() {
68     System.out.println("中序遍历的结果为: ");
69     if (this.root == null) {
70         System.out.println("{}");
71         return;
72     }
73     this.root.infixOrder();
74 }
75
76 public TreeNode1 infixOrderSearch(int target) {
77     return root.infixOrderSearch(target);
78 }
79
80 // 后序遍历
81 public void postOrder() {
82     System.out.println("后序遍历的结果为: ");
83     if (this.root == null) {
84         System.out.println("{}");
85         return;
86     }
87     this.root.postOrder();
88 }
89
90 public TreeNode1 postOrderSearch(int target) {
91     return root.postOrderSearch(target);
92 }
93
94 public TreeNode1 getRoot() {
95     return root;
96 }
```

```

97
98     public void setRoot(TreeNode1 root) {
99         this.root = root;
100     }
101
102     public void threadedNodes(){
103         threadedNodes(root);
104     }
105
106     //对二叉树进行中序线索化的方法
107     public void threadedNodes(TreeNode1 node) {
108         //如果当前节点为空，不能进行线索化
109         if (node == null) {
110             return;
111         }
112         //先线索化左子树
113         threadedNodes(node.leftChild);
114         //再线索化当前节点
115         //先处理当前节点的前驱节点
116         if (node.leftChild == null) {
117             //如果当前节点的左孩子为空，就让其左孩子的引用指向其前驱节点
118             //将当前节点的leftType改为1
119             node.leftChild = preNode;
120             node.leftType = 1;
121         }
122         //处理后继节点，下次处理的
123         if (preNode != null && preNode.rightChild == null) {
124             preNode.rightChild = node;
125             preNode.rightType = 1;
126         }
127         //每处理一个节点后，让当前节点的前驱节点是下一个节点的前驱节点
128         preNode = node;
129         //再线索化右子树
130         threadedNodes(node.rightChild);
131     }
132 }
133
134 //创建节点
135 class TreeNode1 {
136
137     //leftType == 0 ，表示指向左子树
138     //leftType == 1，表示指向前驱结点
139     //rightType == 0 ，表示指向右子树
140     //rightType == 1，表示指向后继结点
141     public int leftType;
142     public int rightType;
143     private int num;
144     private String name;
145     public TreeNode1 leftChild;
146     public TreeNode1 rightChild;
147     public TreeNode1 parent;

```

```
148
149
150 public TreeNode1() {
151
152 }
153
154 public TreeNode1(int num, String name) {
155     this.num = num;
156     this.name = name;
157 }
158
159 public int getNum() {
160     return num;
161 }
162
163 public void setNum(int num) {
164     this.num = num;
165 }
166
167 @Override
168 public String toString() {
169     return "TreeNode{" +
170         "num=" + num +
171         ", name='" + name + '\'' +
172         '}';
173 }
174
175 // 删除节点
176 // 假设不是空树
177 public void delTreeNode(int del) {
178     if (this.leftChild != null) {
179         if (this.leftChild.num == del) {
180             this.leftChild = null;
181             return;
182         }
183     }
184     if (this.rightChild != null) {
185         if (this.rightChild.num == del) {
186             this.rightChild = null;
187             return;
188         }
189     }
190     if (this.leftChild != null) {
191         this.leftChild.delTreeNode(del);
192     }
193     if (this.rightChild != null) {
194         this.rightChild.delTreeNode(del);
195     }
196 }
197
198
```

```

199 //前序遍历的方法,迭代法
200 public void preOrder() {
201     System.out.println(this);
202     if (!(this.leftChild == null)) {
203         this.leftChild.preOrder();
204     }
205     if (!(this.rightChild == null)) {
206         this.rightChild.preOrder();
207     }
208 }
209
210 //前序遍历查找指定节点
211
212 /**
213  * @param target 目标编号
214  * @return 返回对应节点
215  */
216 public TreeNode1 preOrderSearch(int target) {
217     if (this == null || this.num == target) {
218         return this;
219     }
220     TreeNode1 targetNode = null;
221     if (!(this.leftChild == null)) {
222         targetNode = this.leftChild.preOrderSearch(target);
223     }
224     if (targetNode != null) {
225         return targetNode;
226     }
227     if (!(this.rightChild == null)) {
228         targetNode = this.rightChild.preOrderSearch(target);
229     }
230     return targetNode;
231 }
232
233 //中序遍历:递归法
234 public void infixOrder() {
235     if (!(this.leftChild == null)) {
236         this.leftChild.infixOrder();
237     }
238     System.out.println(this);
239     if (!(this.rightChild == null)) {
240         this.rightChild.infixOrder();
241     }
242 }
243
244 //中序遍历查找
245 public TreeNode1 infixOrderSearch(int target) {
246     if (this == null) {
247         return this;
248     }
249     TreeNode1 targetNode = null;

```

```

250     if (!(this.leftChild == null)) {
251         targetNode = this.leftChild.infixOrderSearch(target);
252     }
253     if (targetNode != null) {
254         return targetNode;
255     }
256     if (this.num == target) {
257         return this;
258     }
259     if (!(this.rightChild == null)) {
260         targetNode = this.rightChild.infixOrderSearch(target);
261     }
262     return targetNode;
263 }
264
265 //后序遍历
266 public void postOrder() {
267     if (!(this.leftChild == null)) {
268         this.leftChild.postOrder();
269     }
270
271     if (!(this.rightChild == null)) {
272         this.rightChild.postOrder();
273     }
274     System.out.println(this);
275 }
276
277 public TreeNode1 postOrderSearch(int target) {
278     if (this == null) {
279         return this;
280     }
281     TreeNode1 targetNode = null;
282     if (!(this.leftChild == null)) {
283         targetNode = this.leftChild.postOrderSearch(target);
284     }
285     if (!(targetNode == null)) {
286         return targetNode;
287     }
288     if (!(this.rightChild == null)) {
289         targetNode = this.rightChild.postOrderSearch(target);
290     }
291     if (!(targetNode == null)) {
292         return targetNode;
293     }
294     if (this.num == target) {
295         return this;
296     }
297     return targetNode;
298 }
299
300

```

```
301 }
```

9.4.4 线索化二叉树的遍历

线索化二叉树后，二叉树的引用有所改变，不能使用原来的遍历方式来进行遍历。

9.4.4.1 代码实现

```
1 //线索化二叉树后的遍历
2 public void threadedList(){
3     //定义一个临时变量来存储当前访问的节点
4     //遍历是从root开始的
5     TreeNode1 tmpNode =root;
6     while(tmpNode != null){
7         //循环遍历找到第一个leftType为1的节点
8         //node随着遍历会变化
9         //当leftType为1的时候，该节点是按照线索化处理后的有效节点
10        while(tmpNode.leftType == 0){
11            tmpNode = tmpNode.leftChild;
12        }
13        //打印当前节点
14        System.out.println(tmpNode);
15        //如果当前节点的右指针指向后继节点
16        while (tmpNode.rightType == 1){
17            tmpNode = tmpNode.rightChild;
18            System.out.println(tmpNode);
19        }
20        //如果当前节点的右指针指向的是树
21        //把当前节点替换为它的右孩子
22        tmpNode = tmpNode.rightChild;
23    }
24 }
```

第十章 赫夫曼树

给定 n 个权值作为 n 个叶子结点，构造一棵二叉树。若该树的带权路径长度达到最小，称这样的树为最优二叉树，也称赫夫曼树。

10.1 赫夫曼树实例

给定一个数列，要求转成一棵赫夫曼树。

思路分析：

1. 从小到大进行排序，将每个数据看成一个节点，每个节点都可以看做是一棵最简单的二叉树。
2. 取出根节点权值最小的两颗二叉树。
3. 将 2 中的的两颗二叉树组成一棵新的二叉树，该新的二叉树的根节点的权值是前面两棵二叉树根节点权值的和
4. 将新的二叉树，以根节点的权值大小再次排序，不断重复步骤 1-4，直到数列中所有的数据都被处理。就得到一棵赫夫曼树。

10.2 代码实现

```
1 import java.util.ArrayList;
2 import java.util.Collections;
3 import java.util.List;
4
5 public class HuffmanTreeDemo {
6     public static void main(String[] args) {
7         int arr[] = {13, 7, 8, 3, 29, 6, 1};
8         creatHuffmanTree(arr);
9     }
10
11     //创建赫夫曼树的方法
12     public static Node creatHuffmanTree(int[] arr) {
13         //第一步，为了操作方便，遍历arr
14         //将arr的每一个元素构成一个node
15         //将Node放入到ArrayList中
16         List<Node> arrayList = new ArrayList<>();
17         for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
18             arrayList.add(new Node(arr[i]));
19         }
20         while (arrayList.size() > 1) {
21             //排序:权值从小到大
22             Collections.sort(arrayList);
23             //System.out.println(arrayList);
24             //取出根节点权值最小的两颗二叉树
25
26             Node left = arrayList.get(0);
27             Node right = arrayList.get(1);
28             //构建出一棵新的二叉树
29             Node root = new Node(left.value + right.value);
```

```

30         root.left = left;
31         root.right = right;
32         //从链表移除已构建的两个节点
33         arrayList.remove(left);
34         arrayList.remove(right);
35         //把root添加到链表中
36         arrayList.add(root);
37     }
38     return arrayList.get(0);
39 }
40 }
41
42 class Node implements Comparable<Node> {
43     int value; //节点的权值
44     Node left;
45     Node right;
46
47     public Node() {
48
49     }
50
51     public Node(int value) {
52         this.value = value;
53     }
54
55     @Override
56     public String toString() {
57         return "Node{" +
58             "value=" + value +
59             '}';
60     }
61
62     @Override
63     public int compareTo(Node o) {
64         //表示从小到大进行排序
65         return this.value - o.value;
66     }
67 }

```

10.3 赫夫曼编码

字符编码都不能是其他字符编码的前缀，符合此要求的编码称作前缀编码，即不能匹配到重复的编码。思路：

- 给定字符串，统计各个字符对应的个数
- 按照字符出现的次数构建一棵赫夫曼树，次数作为权值。
- 根据赫夫曼树，给各个字符规定编码，向左的路径为 0，向右的路径为 1。该编码为前缀编码。
- 按照赫夫曼编码，把字符串翻译为赫夫曼编码（这里使用的是无损压缩）

- 赫夫曼树不唯一，所以编码也不唯一，但最终压缩的长度是唯一的

10.3.1 数据压缩

功能：把字符串对应的赫夫曼树创建起来。

思路：

1. 构建新的节点：数据（指文本的字符/该字符对应的 ASCII 码）+ 权重（该字符总共出现的次数）+left+right。
2. 得到字符串对应的 `byte[]` 数组
3. 编写方法：将准备构建赫夫曼树的节点放入 `List` 中
4. 通过 3 中的 `List` 创建对应的赫夫曼树。

```

1 package com.atWSN.huffmantree.huffmancode;
2
3 import java.util.*;
4
5 public class HuffmanCode {
6     public static void main(String[] args) {
7         String content = "i like like like java do you like a java";
8         //         得到字节数组
9         byte[] contentBytes = content.getBytes();
10        //
11        //         System.out.println(Arrays.toString(contentBytes));
12        //         List<Node> list = getNodes(contentBytes);
13        //         Collections.sort(list);
14        //         System.out.println(list);
15        //         System.out.println("-----")
16        ;
17        //         Node root = huffmanTreeNode(list);
18        //         root.preOrder();
19        //
20        //         Map<Byte, String> huffmanCode = getCodes(root);
21        //         System.out.println(huffmanCode);
22        //
23        //         byte[] zip = zip(contentBytes, huffmanCode);
24        //         System.out.println(Arrays.toString(zip));
25        //         System.out.println((float)(contentBytes.length - zip.length) /
26        //             contentBytes.length * 100);
27        //         byte[] zip = huffmanZip(content);
28        //         System.out.println(Arrays.toString(zip));
29        }
30
31        //使用一个方法，将前面的方法封装到一起，便于调用
32        //直接处理字符串
33        //返回经赫夫曼编码处理后的字节数组
34        public static byte[] huffmanZip(String content){
35            //         生成字节数组
36            //         byte[] contentBytes = content.getBytes();
37            //         统计各字符的权值并创建字符对应的叶子节点

```

```

37 //      //将叶子节点放入到ArrayList中
38 //      List<Node > list =getNodes(contentBytes);
39 //      //生成哈夫曼树
40 //      Node root = huffmanTreeNode(list);
41 //      //通过哈夫曼树生成哈夫曼编码表
42 //      Map<Byte, String> huffmanCode = getCodes(root);
43 //      //返回经哈夫曼编码处理后的字节数组
44 //      return zip(contentBytes,huffmanCode);
45 //上边全部的代码可以写成下边这个
46 return zip(content.getBytes(),getCodes(huffmanTreeNode(getNodes(content.
    getBytes()))));
47 }
48 //处理字符串对应的字节数组
49 public static byte[] huffmanZip(byte[] bytes){
50     List<Node > list =getNodes(bytes);
51     Node root = huffmanTreeNode(list);
52     Map<Byte, String> huffmanCode = getCodes(root);
53     return zip(bytes,huffmanCode);
54 }
55
56 /**
57  * @param bytes 接收字节数组
58  * @return
59  */
60
61 public static List<Node> getNodes(byte[] bytes) {
62     List<Node> list = new ArrayList<>();
63     //遍历bytes, 统计每一个byte出现的次数, 使用map[key,value]
64     HashMap<Byte, Integer> counts = new HashMap<>();
65     for (byte b : bytes) {
66         Integer count = counts.get(b);
67         if (count == null) { //map中没有该数据
68             counts.put(b, 1);
69         } else {
70             counts.put(b, count + 1);
71         }
72     }
73     //构建Node
74     //把每一个键值对转成Node对象
75     for (Map.Entry<Byte, Integer> entry : counts.entrySet()) {
76         list.add(new Node(entry.getKey(), entry.getValue()));
77     }
78     return list;
79 }
80
81 //通过List生成赫夫曼树
82 public static Node huffmanTreeNode(List<Node> list) {
83     while (list.size() > 1) {
84         Collections.sort(list);
85         Node leftNode = list.get(0);
86         Node rightNode = list.get(1);

```

```

87         Node root = new Node(leftNode.weight + rightNode.weight);
88         root.right = rightNode;
89         root.left = leftNode;
90         list.add(root);
91         list.remove(leftNode);
92         list.remove(rightNode);
93     }
94     return list.get(0);
95 }
96
97 //通过赫夫曼树生成赫夫曼编码
98 //将赫夫曼编码表放入到map中去Map<Byte,String>形式
99 //32->01 97->100
100 static Map<Byte, String> huffmanCodes = new HashMap<>();
101
102 /**
103  * 功能：将所有传入的node节点的所有叶子结点的赫夫曼编码得到，并放入到
104         huffmanCodes 中
105  *
106  * @param node        传入的赫夫曼树节点
107  * @param code        路径：左子节点是0，右子节点是1
108  * @param stringBuilder 用于拼接路径的
109  */
110 private static void getCodes(Node node, String code, StringBuilder
111         stringBuilder) {
112     //
113     StringBuilder stringBuilder2 = new StringBuilder(stringBuilder);
114     //将传入的code加入到stringBuilder2中
115     stringBuilder2.append(code);
116     if (node != null) { //node为空不处理
117         //判断当前节点是叶子还是非叶子
118         if (node.data == null) { //非叶子节点
119             //递归处理
120
121             //向左
122             getCodes(node.left, "0", stringBuilder2);
123             //向右递归
124             getCodes(node.right, "1", stringBuilder2);
125         } else { //叶子节点
126             //表示找到了某个叶子结点的最后
127             huffmanCodes.put(node.data, stringBuilder2.toString());
128         }
129     }
130 }
131
132 //为了调用方便，重载该方法
133 private static Map<Byte, String> getCodes(Node root) {
134     if (root == null) {
135         System.out.println("哈夫曼数为空，无法构建哈夫曼码");
136         return null;
137     }
138 }

```

```

136     }
137     //生成赫夫曼编码表时，需要拼接路径，使用StringBuilder
138     StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder();
139     getCodes(root, "", stringBuilder);
140     return huffmanCodes;
141 }
142
143 //编写一个方法，将字符串对应的byte[]数组，通过生成的赫夫曼编码表，返回一个赫夫
    曼编码压缩后的byte[]
144
145 /**
146  * @param bytes      原始字符串对应的byte[]数组
147  * @param huffmanCodes 由原始字符串生成的哈夫曼编码表
148  * @return 返回的是哈夫曼编码后转成的对应的byte数组
149  */
150 public static byte[] zip(byte[] bytes, Map<Byte, String> huffmanCodes) {
151     //先利用赫夫曼编码表将原始的byte[]数组转换为赫夫曼编码字符串
152     StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder();
153     for (byte elem : bytes) {
154         stringBuilder.append(huffmanCodes.get(elem));
155     }
156     //这句是调试代码查看二进制码的，实际功能中不要
157     //System.out.println(stringBuilder.toString());
158
159     //将字符串转为byte数组
160     //首先计算字节数组的长度，即stringBuilder的长度/8
161     int len = 0;
162     //为了便于统一，字节数组的最后一个用于存放赫夫曼编码后的最后那个字节的位长
        度
163     if (stringBuilder.length() % 8 == 0) {
164         len = stringBuilder.length() / 8 + 1;
165     } else {
166         len = stringBuilder.length() / 8 + 1 + 1;
167     }
168     int index = 0; //记录放入byte数组的位置
169     //创建存储压缩后的byte数组
170     byte[] tmp = new byte[len];
171     for (int i = 0; i < stringBuilder.length(); i += 8) {
172         String strByte;
173         if (i + 8 <= stringBuilder.length()) {
174             strByte = stringBuilder.substring(i, i + 8);
175             if (i + 8 == stringBuilder.length()) {
176                 tmp[len - 1] = 8;
177             }
178         } else {
179             strByte = stringBuilder.substring(i);
180             tmp[len - 1] = (byte) (stringBuilder.length() - i);
181         }
182         //将strByte转为byte数组
183         tmp[index++] = (byte) Integer.parseInt(strByte, 2);
184     }

```

```
185         return tmp;
186     }
187 }
188
189 class Node implements Comparable<Node> {
190     Byte data; //用于存放字符
191     int weight; //权值, 表示data出现的次数
192     Node left;
193     Node right;
194
195     public Node() {
196
197     }
198
199     public Node(int weight) {
200         this.weight = weight;
201     }
202
203     public Node(Byte data, int weight) {
204         this.data = data;
205         this.weight = weight;
206     }
207
208     @Override
209     public int compareTo(Node o) {
210         return this.weight - o.weight;
211     }
212
213     @Override
214     public String toString() {
215         return "Node{" +
216             "data=" + data +
217             ", weight=" + weight +
218             '}';
219     }
220
221     // 前序遍历
222     public void preOrder() {
223         System.out.println(this);
224         if (this.left != null) {
225             this.left.preOrder();
226         }
227         if (this.right != null) {
228             this.right.preOrder();
229         }
230     }
231 }
```

10.3.2 解压缩

将数据通过赫夫曼编码压缩后，使用赫夫曼编码将压缩后的数据进行解码，重新得到原来的数据。解码的过程实际就是编码的逆向过程。

10.3.2.1 思路

1. 将压缩后的字节数组重新转为二进制码字符串；
2. 将该字符串对照赫夫曼编码重新转为字符串

10.3.2.2 代码实现

```

1 // 解码
2
3 // 编写一个方法，完成对压缩数据的解码
4
5 /**
6  * @param huffmanCodes 哈夫曼编码表
7  * @param huffmanBytes 压缩后得到的数组
8  * @return 原字符串对应的字节数组
9  */
10 public static byte[] decode(Map<Byte, String> huffmanCodes, byte[]
    huffmanBytes) {
11     // 1. 先得到huffmanBytes对应的二进制字符串
12     StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder();
13     // 处理huffmanBytes的前边字节，后两个单独处理
14     for (int i = 0; i < huffmanBytes.length - 2; i++) {
15         stringBuilder.append(byteToBitString(huffmanBytes[i]));
16     }
17     // 后两个单独处理：哈夫曼编码处理的最后一个字节记录的是最后一个字节的长度
18     int l = huffmanBytes[huffmanBytes.length - 1];
19     String str = Integer.toBinaryString((huffmanBytes[huffmanBytes.length -
        2] | 256)); // 要和1 0000 0000(十进制为256)的或一下，正数补高位
20     stringBuilder.append(str.substring(str.length() - l));
21     // 把字符串按照指定的赫夫曼编码进行解码
22     // 把赫夫曼编码表进行调换
23     // 例如之前是97->100，即把97对应的字符转为赫夫曼编码100
24     // 现在要把100转为对应的字符
25     // 相当于是反向查询
26     Map<String, Byte> map = new HashMap<>();
27     for (Map.Entry<Byte, String> entry : huffmanCodes.entrySet()) {
28         map.put(entry.getValue(), entry.getKey());
29     }
30
31     // 创建一个集合存放byte
32     List<Byte> list = new ArrayList<>();
33     for (int i = 0; i < stringBuilder.length(); ) {
34         int count = 1;
35         boolean flag = true;
36         Byte b = null;

```

```

37         while (flag) {
38             // 取出一个 '0' 或 '1'
39             String key = stringBuilder.substring(i, i + count);
40             b = map.get(key);
41             if (b != null) {
42                 flag = false;
43             } else { // b 为空, 说明没有匹配到
44                 count++;
45             }
46
47         }
48         list.add(b);
49         i += count;
50     }
51     byte[] b = new byte[list.size()];
52     int index = 0;
53     for (Byte by : list) {
54         b[index++] = by;
55     }
56     return b;
57 }
58
59 /**
60  * 功能: 把压缩后的字节数组中的元素转为二进制字符串
61  *
62  * @param bt    传入的 byte
63  * @return 是 bt 对应的二进制字符串, 是按补码返回的。
64  */
65
66 private static String byteToBitString(byte bt) {
67     int tmp = bt;
68     // 对于正数, 还存在补高位
69     tmp |= 256; // 256 的二进制码是 1 0000 0000; 后八位刚好是 0
70
71     String str = Integer.toBinaryString(tmp);
72     // int 对应的字节是 32 位, 要截取最后八位
73     return str.substring(str.length() - 8);
74 }

```

10.3.3 文件的压缩与解压缩

```

1 public static void main(String[] args) throws IOException {
2     //     String srcFile = "E://Desktop//数据结构.pdf";
3     //     String dstFile = "E://Desktop//KMP 算法图压缩后.zip";
4     //     zipFile(srcFile, dstFile);
5     //     System.out.println("压缩文件成功");
6
7     String zipFile = "E://Desktop//KMP 算法图压缩后.zip";
8     String dstFile = "E://Desktop//KMP 算法图解压后.png";
9     unzipFile(zipFile, dstFile);

```

```

10     System.out.println("解压缩文件成功");
11 }
12
13 //编写一个方法，将文件解压缩
14
15 /**
16  * @param zipFile 待解压文件
17  * @param dstFile 文件解压到的路径
18  */
19 public static void unZipFile(String zipFile, String dstFile) throws
    IOException {
20     //定义文件输入流
21     InputStream is = null;
22     //定义一个与文件输入关联的对象输入流
23     ObjectInputStream ois = null;
24     //定义文件的输出流
25     OutputStream os = null;
26     try {
27         //创建文件输入流
28         is = new FileInputStream(zipFile);
29         //创建一个和is关联的对象输入流
30         ois = new ObjectInputStream(is);
31         //读取byte数组（哈夫曼编码处理后的那个数组）
32         byte[] huffmanBytes = (byte[]) ois.readObject();
33         Map<Byte, String> map = (Map<Byte, String>) ois.readObject();
34         //解码
35         byte[] bytes = decode(map, huffmanBytes);
36         //将bytes写入到目标文件
37         os = new FileOutputStream(dstFile);
38         os.write(bytes);
39     } catch (Exception e) {
40         System.out.println(e.getMessage());
41     } finally {
42         try {
43             os.close();
44             ois.close();
45             is.close();
46         } catch (Exception e) {
47             System.out.println(e.getMessage());
48         }
49     }
50 }
51
52 //编写方法，将一个文件进行压缩
53
54 /**
55  * @param srcFile 被压缩文件的全路径
56  * @param dstFile 压缩后的文件存放的目录
57  */
58 public static void zipFile(String srcFile, String dstFile) {
59     //创建输出流

```



```
60     OutputStream os = null;
61     ObjectOutputStream oos = null;
62     //创建文件的输入流
63     FileInputStream fileInputStream = null;
64     try {
65         fileInputStream = new FileInputStream(srcFile);
66         //创建一个和源文件一样的byte数组
67         byte[] b = new byte[fileInputStream.available()]; //available() 返回源文
            件的大小
68         //读取文件
69         fileInputStream.read(b); //把文件的内容读到字节数组中
70         //获取到文件对应的赫夫曼编码
71
72         //直接对源文件进行了压缩
73         byte[] huffmanZip = huffmanZip(b);
74         //创建文件输出流，存放压缩文件
75         os = new FileOutputStream(dstFile);
76         //创建一个和文件输出流关联的ObjectOutputStream
77         oos = new ObjectOutputStream(os);
78         //把赫夫曼编码后的字节数组写入压缩文件
79         oos.writeObject(huffmanZip);
80         //以对象流的方式写入赫夫曼编码，为了恢复源文件时使用
81         //注意一定要把赫夫曼编码写入压缩文件，否则无法恢复
82         oos.writeObject(huffmanCodes);
83     } catch (Exception e) {
84
85         System.out.println(e.getMessage());
86     } finally {
87         try {
88             fileInputStream.close();
89             oos.close();
90             os.close();
91         } catch (Exception e) {
92             System.out.println(e.getMessage());
93         }
94     }
95 }
```