数组基础

- 数据的索引
- 对于索引的理解

封装数组

- 动态数组设计过程
  - V1.0版本：基础数组结构
  - V1.1版本：向数组中添加元素
  - V1.2版本：向指定的位置插入指定的元素，提供一个addFirst
  - V1.3版本：在数组中查询元素和修改元素
  - V1.4版本：包含搜索和删除
  - V1.5版本：使用泛型
  - V1.5版本：动态数组
  - V1.51经典版程序
  - V1.6版本：使用泛型
- 数组时间复杂度算法简单分析
  - 1， 简单复杂度分析
  - 2， 均摊复杂度和防止复杂度的震荡
  - 3，复杂度震荡

栈（stack）

- 展示元素入栈的过程
- 展示元素出栈的过程
- 小结：
  - 案例1
  - 案例2
- 栈的基本实现
  - Array
  - Stack
  - ArrayStack
  - Main
- 栈的时间复杂度分析
- Stack案例实操（编译器对括号的匹配报错机制）

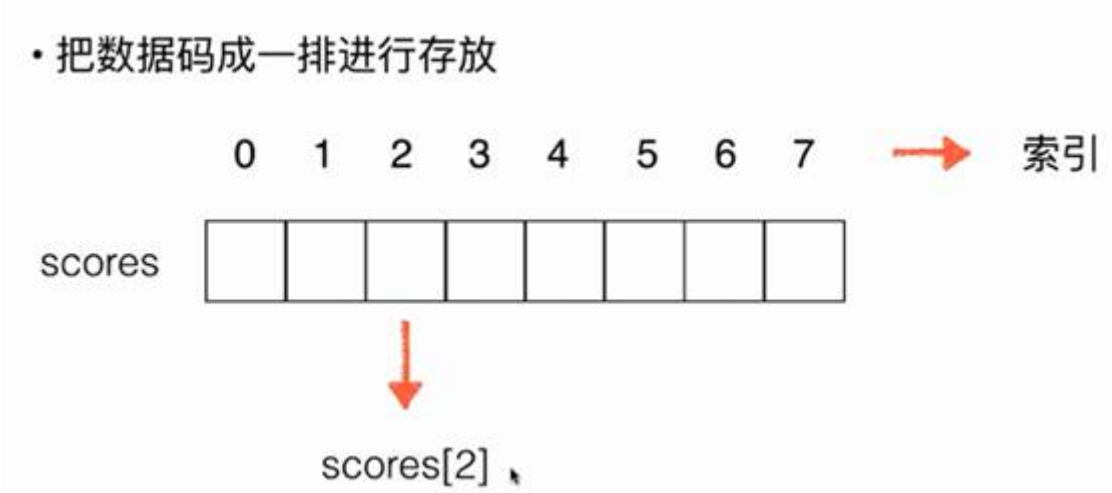
队列

- 定义:
- Array
- ArrayQueue
- Queue
- 循环队列与数组队列的时间复杂度分析

链表

- 数据存储在“节点”（node）中
- 数组结构和链表结构的对比
- 给链表中添加元素
  - 在表头添加数据
  - 在链表指定索引处添加节点
  - 给链表使用虚拟头结点
- 链表的遍历，查询和修改
- 从链表中删除元素
- 使用链表实现栈
- 使用链表实现队列结构

数组基础

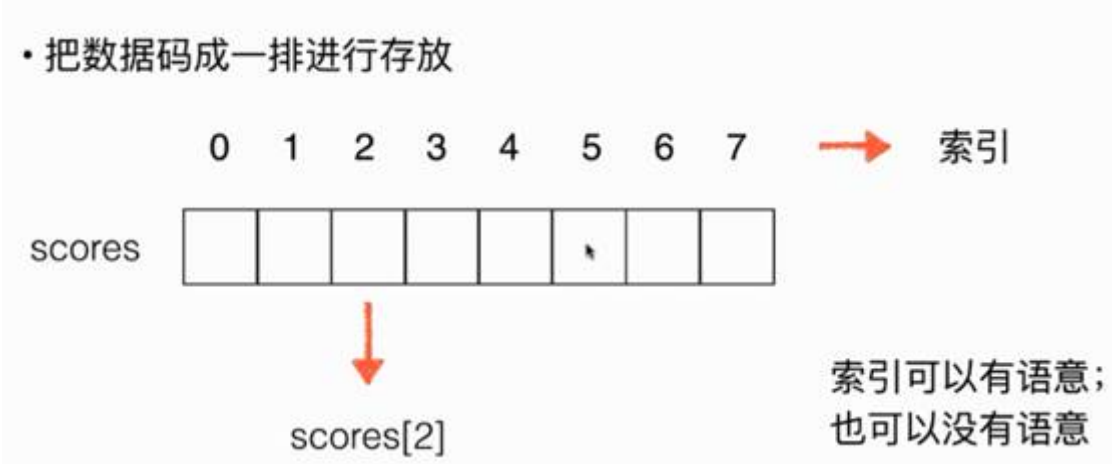


给数组取一个名字Array ——arr

真实环境中更需要给数组取一个有实际意义的名字

数据的索引

索引概念很重要，可以有语义也可以没有语义



对于索引的理解

1， 数组的最大优点：快速查询——scores【2】

2， 数组最好应用于“索引有语意”的情况

3， 但并非所有有语意的索引都适用于数组

身份证号：50010520189898

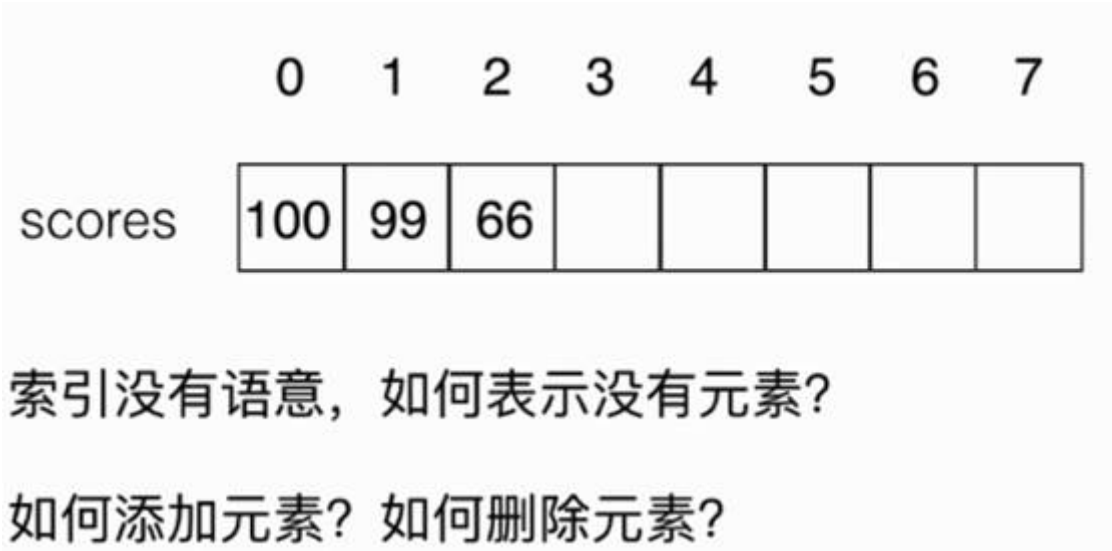
4， 数组也可以处理索引没有语意的情况

5， 本章处理主要就是处理“索引没有语意”的情况数组的使用

需求：遍历数组，打印一个班的成绩

```
public class Main {

    public static void main(String[] args) {

        int[] arr = new int[20];
        for(int i = 0 ; i < arr.length ; i ++)
            arr[i] = i;

        int[] scores = new int[]{100, 99, 66};
        for(int i = 0 ; i < scores.length ; i ++)
            System.out.println(scores[i]);

        scores[0] = 98;
        for(int i = 0 ; i < scores.length ; i ++)
            System.out.println(scores[i]);
    }
}
```

封装数组



提出需求：需要基于java数组，二次封装属于我们自己的数组类，区别于java本身的静态数组，性能媲美静态数组

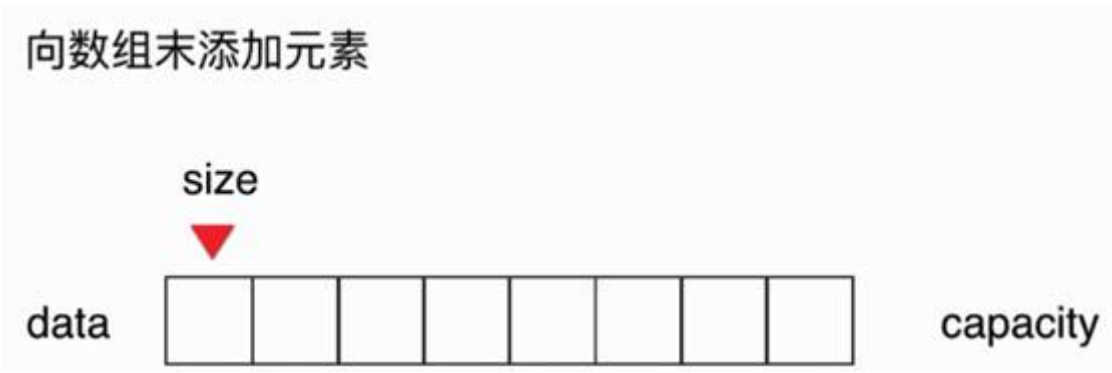
动态数组设计过程

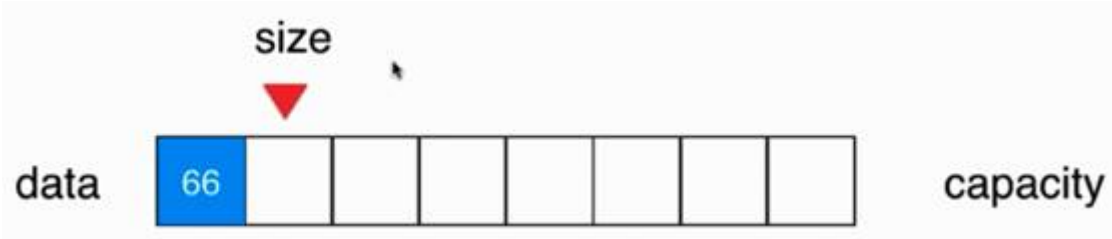
Capacity：容量

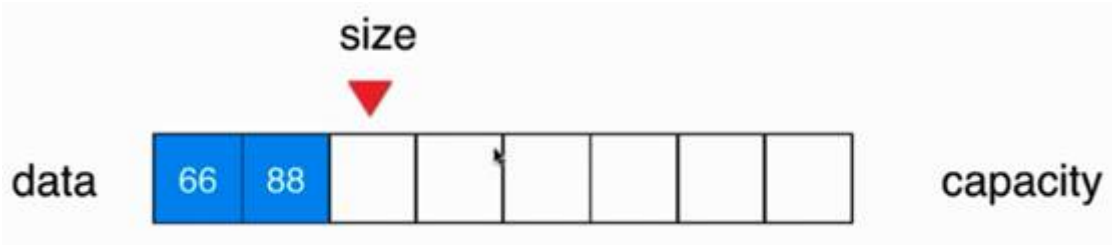
V1.0版本：基础数组结构

```java
class MyArray{
    //私有化数据
    private int[] data;
    //定义长度
    private int size;
    //构造函数，传入数组的容量capacity构造array
    public MyArray(int capacity){
        data=new int[capacity];
        size=0;
    }
    //无参构造函数，默认数组的容量capacity=10
    public MyArray(){
        this(10);
    }
    //获取数组中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }
    //获取数组容量
    public int getCapacity(){
        return data.length;
    }
    //返回数组是为空  不是 为空   非空    为空  true
    public boolean isEmpty(){
        return size==0;
    }
}

```

V1.1版本：向数组中添加元素

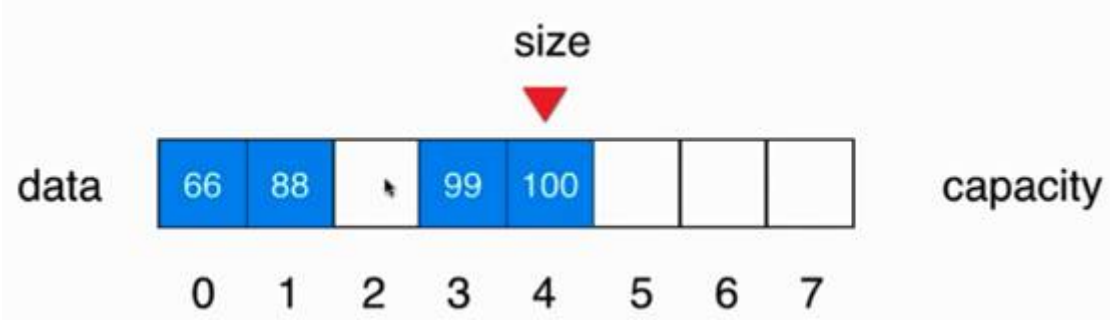


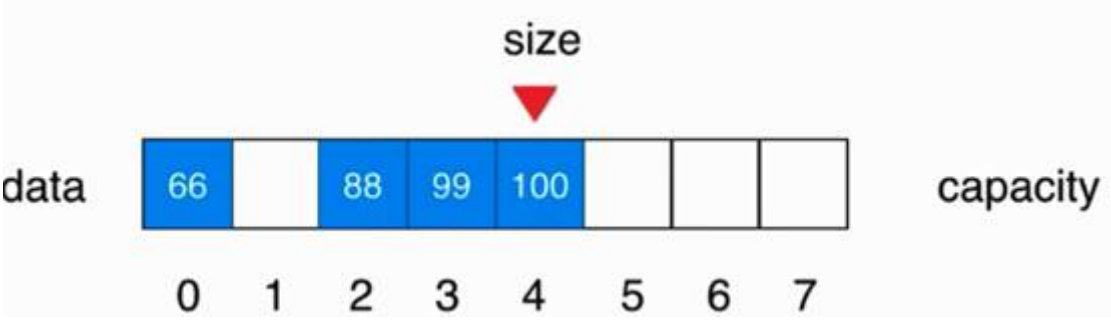


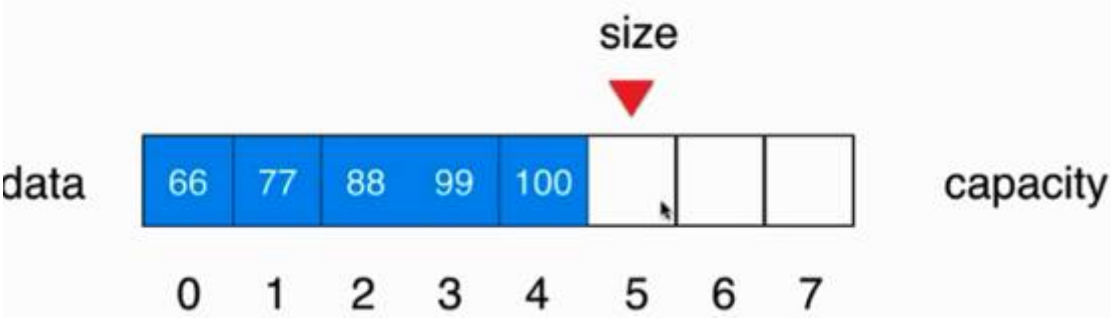



```java
    //向所有元素后添加一个新元素
    public void addLast(int e){
        if(size==data.length)
            throw new IllegalArgumentException("addlast faild,array is full");
//      data[size++]=e;不便于阅读
        data[size]=e;
        size++;
    }

```

V1.2版本：向指定的位置插入指定的元素，提供一个addFirst







代码写完后需要修改刚才的增加函数

```
    //向所有元素后添加一个新元素
    public void addLast(int e){
//      if(size==data.length)
//          throw new IllegalArgumentException("addlast faild,array is full");
////          data[size++]=e;不便于阅读
//      data[size]=e;
//      size++;
        add(size, e);

    }


    // 在所有元素前添加一个新元素
    public void addFirst(int e){
        add(0, e);
    }

    // 在index索引的位置插入一个新元素e
    public void add(int index, int e){

        if(size == data.length)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Array is full.");

```

```
        if(index < 0 || index > size)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");

        for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
            data[i + 1] = data[i];
        data[index] = e;
        size ++;
    }

```

V1.3版本：在数组中查询元素和修改元素

```
    // 获取index索引位置的元素
    public int get(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Index is illegal.");
        return data[index];
    }

    // 修改index索引位置的元素为e
    public void set(int index, int e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Index is illegal.");
        data[index] = e;
    }

    @Override
    public String toString(){

        StringBuilder res = new StringBuilder();
        res.append(String.format("Array: size = %d , capacity = %d\n", size, data.length));
        res.append('[');
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            res.append(data[i]);
            if(i != size - 1)
                res.append(", ");
        }
        res.append(']');
        return res.toString();
    }

```

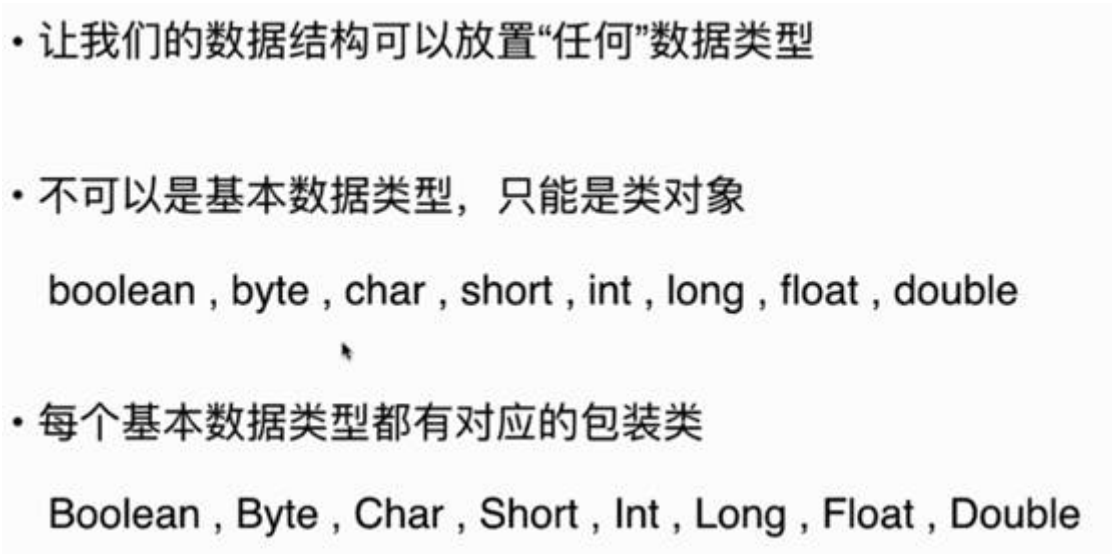
V1.4版本：包含搜索和删除

```
    // 查找数组中是否有元素e
    public boolean contains(int e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i] == e)
                return true;
        }
        return false;
    }
```

```
9
10      // 查找数组中元素e所在的索引，如果不存在元素e，则返回-1
11      public int find(int e){
12          for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
13              if(data[i] == e)
14                  return i;
15          }
16          return -1;
17      }
18
19      // 从数组中删除index位置的元素，返回删除的元素
20      public int remove(int index){
21          if(index < 0 || index >= size)
22              throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is
    illegal.");
23          int ret = data[index];
24          for(int i = index + 1 ; i <= size ; i ++)
25              data[i - 1] = data[i];
26          size --;
27          return ret;
28      }
29
30      // 从数组中删除第一个元素，返回删除的元素
31      public int removeFirst(){
32          return remove(0);
33      }
34
35      // 从数组中删除最后一个元素，返回删除的元素
36      public int removeLast(){
37          return remove(size - 1);
38      }
39
40      // 从数组中删除元素e
41      public void removeElement(int e){
42          int index = find(e);
43          if(index != -1)
44              remove(index);
45      }
46
```

V1.5版本：使用泛型

理由：



代码改造：Array

```java
package com.haoyu;

public class Array<E> {

    private E[] data;
    private int size;

    // 构造函数，传入数组的容量capacity构造Array
    public Array(int capacity){
        data = (E[])new Object[capacity];
        size = 0;
    }

    // 无参数的构造函数，默认数组的容量capacity=10
    public Array(){
        this(10);
    }

    // 获取数组的容量
    public int getCapacity(){
        return data.length;
    }

    // 获取数组中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }

    // 返回数组是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在index索引的位置插入一个新元素e
    public void add(int index, E e){

        if(size == data.length)
```

```
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Array is full.");

        if(index < 0 || index > size)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");

        for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
            data[i + 1] = data[i];

        data[index] = e;

        size ++;
    }

    // 向所有元素后添加一个新元素
    public void addLast(E e){
        add(size, e);
    }

    // 在所有元素前添加一个新元素
    public void addFirst(E e){
        add(0, e);
    }

    // 获取index索引位置的元素
    public E get(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Index is illegal.");
        return data[index];
    }

    // 修改index索引位置的元素为e
    public void set(int index, E e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Index is illegal.");
        data[index] = e;
    }

    // 查找数组中是否有元素e
    public boolean contains(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return true;
        }
        return false;
    }

    // 查找数组中元素e所在的索引，如果不存在元素e，则返回-1
    public int find(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return i;
        }
        return -1;
    }
```

```
92
93      // 从数组中删除index位置的元素, 返回删除的元素
94      public E remove(int index){
95          if(index < 0 || index >= size)
96              throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is
    illegal.");
97
98          E ret = data[index];
99          for(int i = index + 1 ; i < size ; i ++)
100             data[i - 1] = data[i];
101         size --;
102         data[size] = null; // loitering objects != memory leak
103         return ret;
104     }
105
106     // 从数组中删除第一个元素, 返回删除的元素
107     public E removeFirst(){
108         return remove(0);
109     }
110
111     // 从数组中删除最后一个元素, 返回删除的元素
112     public E removeLast(){
113         return remove(size - 1);
114     }
115
116     // 从数组中删除元素e
117     public void removeElement(E e){
118         int index = find(e);
119         if(index != -1)
120             remove(index);
121     }
122
123     @Override
124     public String toString(){
125
126         StringBuilder res = new StringBuilder();
127         res.append(String.format("Array: size = %d , capacity = %d\n",
    size, data.length));
128         res.append('[');
129         for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
130             res.append(data[i]);
131             if(i != size - 1)
132                 res.append(", ");
133         }
134         res.append(']');
135         return res.toString();
136     }
137 }
138
```

测试类：student

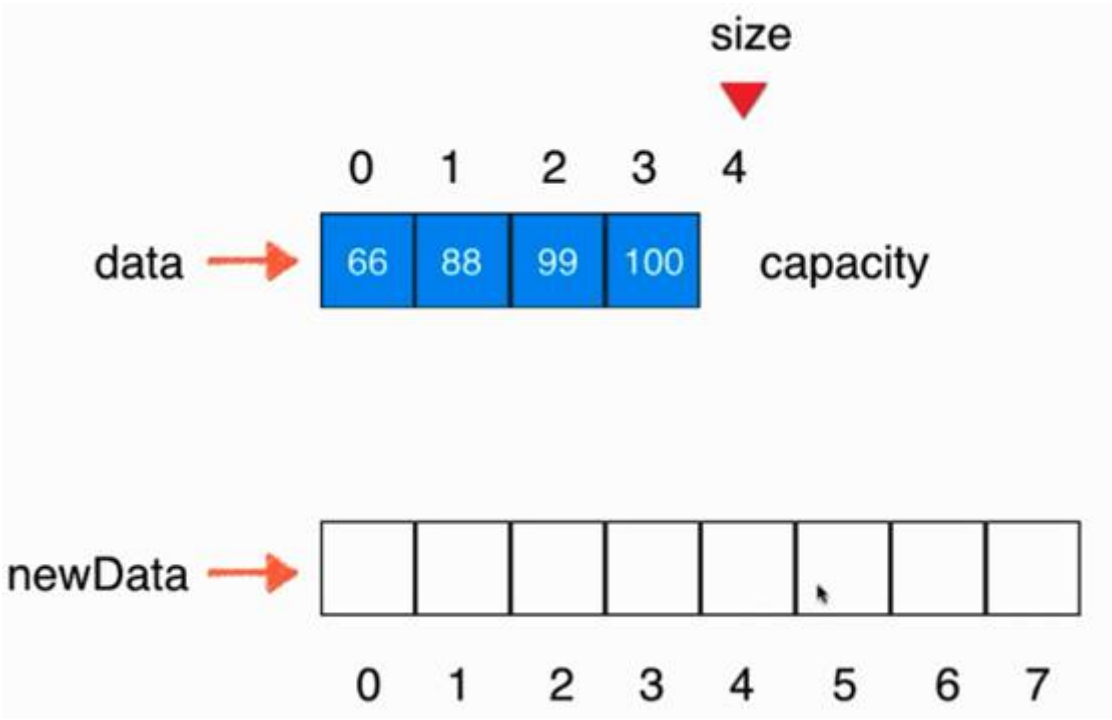
```
1  package com.haoyu;
2
3  public class Student {
4
5      private String name;
```

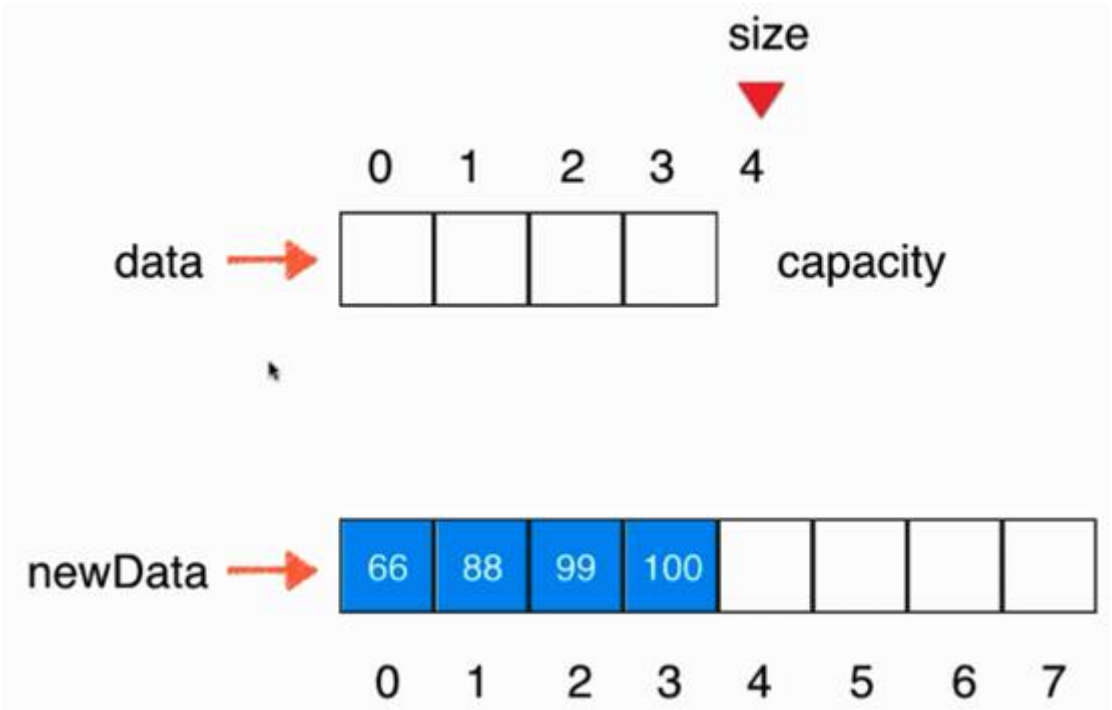
```
    private int score;

    public Student(String studentName, int studentScore){
        name = studentName;
        score = studentScore;
    }

    @Override
    public String toString(){
        return String.format("Student(name: %s, score: %d)", name, score);
    }

    public static void main(String[] args) {

        Array<Student> arr = new Array<Student>();
        arr.addLast(new Student("Alice", 100));
        arr.addLast(new Student("Bob", 66));
        arr.addLast(new Student("Charlie", 88));
        System.out.println(arr);
    }
}
```

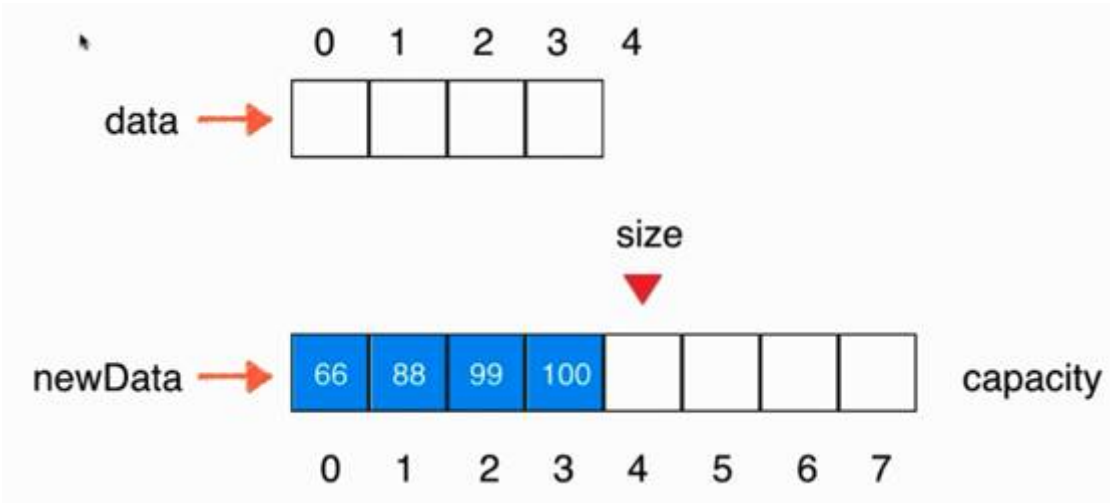
打印类:

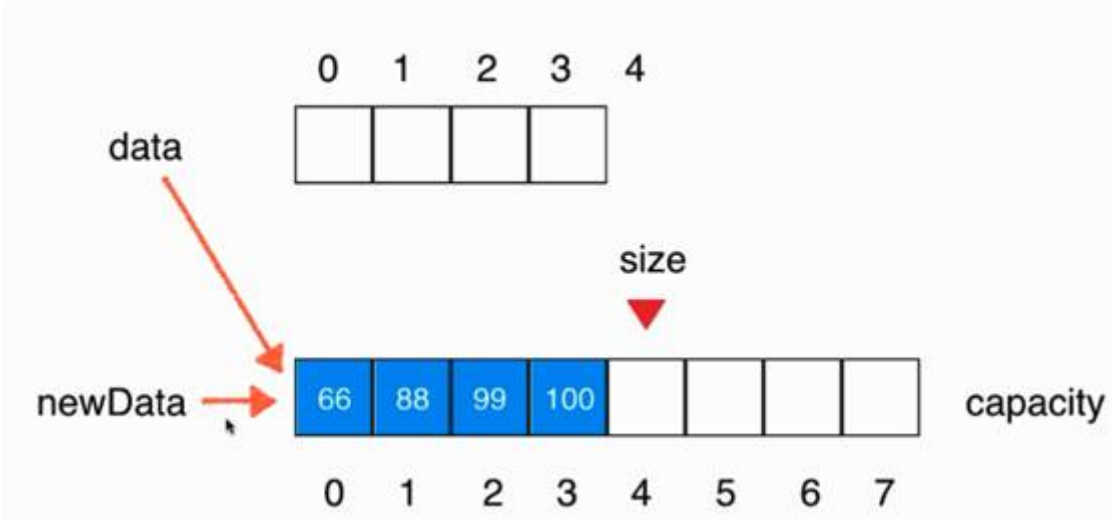
```
public class Main {

    public static void main(String[] args) {

        Array<Integer> arr = new Array<Integer>(20);
        for(int i = 0 ; i < 10 ; i ++)
            arr.addLast(i);
        System.out.println(arr);

        arr.add(1, 100);
        System.out.println(arr);

        arr.addFirst(-1);
        System.out.println(arr);
        // [-1, 0, 100, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]

        arr.remove(2);
        System.out.println(arr);

        arr.removeElement(4);
        System.out.println(arr);

        arr.removeFirst();
        System.out.println(arr);
    }
}
```

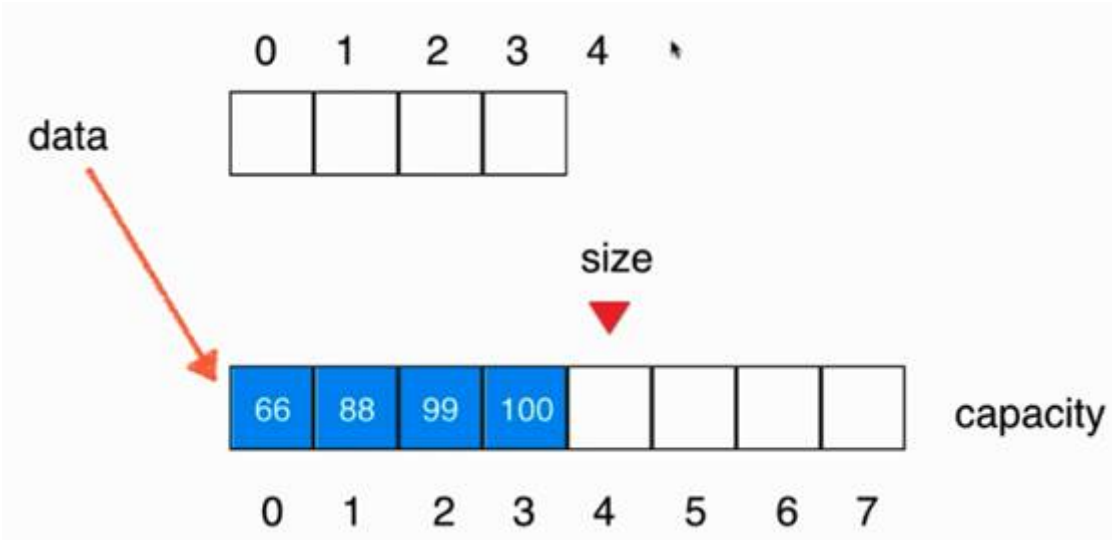
V1.5版本：动态数组

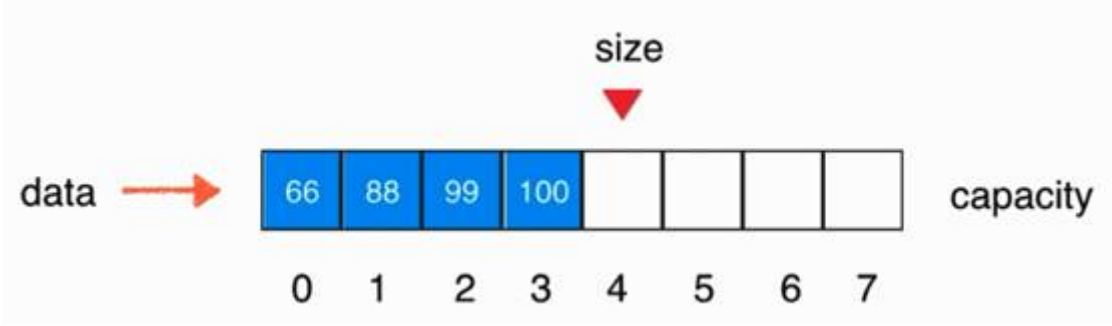

size
0 1 2 3 4
data
66 88 99 100
capacity
newData
0 1 2 3 4 5 6 7


size
0 1 2 3 4
data
capacity
newData
66 88 99 100
0 1 2 3 4 5 6 7


0 1 2 3 4
data
size
newData
66 88 99 100
capacity
0 1 2 3 4 5 6 7








```java
// 在index索引的位置插入一个新元素e
    public void add(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");

        if(size == data.length)
            resize(2 * data.length);

        for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
            data[i + 1] = data[i];

        data[index] = e;

        size ++;
    }
```

```
    // 将数组空间的容量变成newCapacity大小
    private void resize(int newCapacity){

        E[] newData = (E[])new Object[newCapacity];
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
            newData[i] = data[i];
        data = newData;
    }

```

测试：

```
public class Main {
    public static void main(String[] args) {
        Array<Integer> arr = new Array<Integer>();
        for(int i = 0 ; i < 10 ; i ++)
            arr.addLast(i);
        System.out.println(arr);

        arr.add(1, 100);
        System.out.println(arr);

        arr.addFirst(-1);
        System.out.println(arr);

        arr.remove(2);
        System.out.println(arr);

        arr.removeElement(4);
        System.out.println(arr);

        arr.removeFirst();
        System.out.println(arr);
    }
}

```

V1.51经典版程序

```
import java.util.Arrays;
/**
* <p>Title: Demo19.java</p>
* <p>Description:
* 125经典版 </p>
* <p>Copyright: Copyright (c) 2017</p>
* <p>Company: com.haoyu</p>
* @author 大师
* @date 2019年8月14日
* @version 1.0
 */
//定义集合--多功能的简便操作的数组
//my 我的   array  数组  list 列表
//我的数组增强功能后的列表类--线性数组集合类
class MyArrayList{
    //声明要准备好空间，等待后面存入元素
```

```java
    private int[] data;
    //定义元素个数
    private int size;
    //定义一个初始化数组容量大小
    private int capacity=16;
    //new的时候保证初始化空间与个数
    public MyArrayList(int capacity) {
        //更改初始化的长度
        //健壮性判断
        if(capacity<=0) {
            data=new int[this.capacity];
        }else {
            data=new int[capacity];
        }
        //由于现在没有存储元素，因此元素个数=0
        this.size=0;
    }
    //无参构造函数，默认数组的容量capacity=10
    public MyArrayList(){
        //调用其他的带参数的对应构造函数
        this(10);
    }
    public int getSize() {
        return size;
    }
    //获取数组容量--数组定义后开辟的空间个数
    public int getCapacity(){
        //数组在初始化后就开辟的空间个数，只不过里面目前有没有元素。不清楚
        return data.length;
    }
    //返回数组"是为空"  false isEmpty-不为空   true isEmpty-为空
    public boolean isEmpty(){
        return size==0;
    }
    //在数组末尾增加元素
    //last 最后  e-element:元素
    //MyArrayList [data=[1, 2, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]]
//  public void addLast(int e) {
//      //判断一下当前的空间是否已经容量满员。如果已经满员了，就不应该执行增加操作了
//      if(size==data.length) {
//          //一旦出现问题，throw 抛出去一个问题 xxxException  exception：异常，问题
//          //后面的java代码不会再继续执行
//          throw new RuntimeException("容量已满");
//      }
//      //size当前位置增加一个元素（赋值一个元素）
//      data[size]=e;
//      //size往后走一位
//      size++;
//  }

    public void addLast(int e) {
        insert(size,e);
    }
    public void addFirst(int e) {
        insert(0,e);
    }
    //插入元素  index=插入的位置--数组元素角标
```

```
    //index-O  +++   e-element：元素
    public void insert(int index,int e) {
        //判断一下当前的空间是否已经容量满员。如果已经满员了，就不应该执行增加操作了
        if(size==data.length) {
            //一旦出现问题，throw 抛出去一个问题 xxxException  exception：异常，问题
            //后面的java代码不会再继续执行
//          throw new RuntimeException("容量已满");
            resize(2*data.length);
        }
        //插歪了，让代码停止执行
        if(index < 0 || index > size) {
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");
        }
        //MyArrayList [data=[1, 2, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]]
        //size=3
        //i=size-1=2  data[2]=3
        //i-- i>=index  index=0
        //2 1 0:存在元素要依次往后走一位  e=data[index=0]
        for(int i=size-1;i>=index;i--) {
            data[i+1]=data[i];
        }
        //剩下的[index]=e
        data[index]=e;
        //由于是增加了一个元素
        size++;

        if(size==data.length) {
            resize(2*data.length);
        }
    }

    //获取元素  index-0~size-1
    public int get(int index) {
        //查歪了
        if(index < 0 || index > size-1) {
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");
        }
        return data[index];
    }

    //修改制定位置的元素
    public void set(int index,int e) {
        //查歪了
        if(index < 0 || index > size-1) {
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");
        }
        data[index]=e;
    }

    //查看数组是否包含元素
    public boolean contains(int e) {
        //从0角标开始往后遍历，直到size-1结束
        for(int i=0;i<size;i++) {
            if(data[i]==e) {
```

```
                return true;
            }
        }
        return false;
    }
    //获取索引角标
    //如果不在范围内，返回-1
    public int getIndex(int e) {
        for(int i=0;i<size;i++) {
            if(data[i]==e) {
                return i;
            }
        }
        return -1;
    }
    // 从数组中删除index位置的元素，返回删除的元素
    public int remove(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is illegal.");

        int ret = data[index];
        for(int i = index + 1 ; i <= size ; i ++)
            data[i - 1] = data[i];
        size --;
//        1 2 3 4 5 0 0 0 size:5 length:8
//        1 2 3 4 0 0 0 0 size:4 length:8
//        1 2 3 0         size:3 length:4
        if(size==data.length/2-1) {
            delResize();
        }

        return ret;
    }

    //扩容操作 re再一次 size大小 resize再一次确定大小
    //2*data.length
    public  void resize(int newCapacity) {
        int[] newData=new int[newCapacity];
        //把原来少元素的数组赋值给长的数组
        for(int i=0;i<data.length;i++) {
            newData[i]=data[i];
        }
        data=newData;//数组名字指向的是整个数组的内存起始地址
    }
    //缩容操作
    public void delResize() {
        int[] newData=new int[data.length/2];
        for(int i=0;i<newData.length;i++) {
            newData[i]=data[i];
        }
        data=newData;
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "MyArrayList [data=" + Arrays.toString(data) + "]";
    }
```

```
}
```

V1.6版本：使用泛型

```
public class Array<E> {

    private E[] data;
    private int size;

    // 构造函数，传入数组的容量capacity构造Array
    public Array(int capacity){
        data = (E[])new Object[capacity];
        size = 0;
    }

    // 无参数的构造函数，默认数组的容量capacity=10
    public Array(){
        this(10);
    }

    // 获取数组的容量
    public int getCapacity(){
        return data.length;
    }

    // 获取数组中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }

    // 返回数组是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在index索引的位置插入一个新元素e
    public void add(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");

        if(size == data.length)
            resize(2 * data.length);

        for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
            data[i + 1] = data[i];

        data[index] = e;

        size ++;
    }

    // 向所有元素后添加一个新元素
    public void addLast(E e){
```

```
        add(size, e);
    }

    // 在所有元素前添加一个新元素
    public void addFirst(E e){
        add(0, e);
    }

    // 获取index索引位置的元素
    public E get(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Index is illegal.");
        return data[index];
    }

    // 修改index索引位置的元素为e
    public void set(int index, E e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Index is illegal.");
        data[index] = e;
    }

    // 查找数组中是否有元素e
    public boolean contains(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return true;
        }
        return false;
    }

    // 查找数组中元素e所在的索引，如果不存在元素e，则返回-1
    public int find(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return i;
        }
        return -1;
    }

    // 从数组中删除index位置的元素，返回删除的元素
    public E remove(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is illegal.");

        E ret = data[index];
        for(int i = index + 1 ; i < size ; i ++)
            data[i - 1] = data[i];
        size --;
        data[size] = null; // loitering objects != memory leak

        if(size == data.length / 2)
            resize(data.length / 2);
        return ret;
    }
```

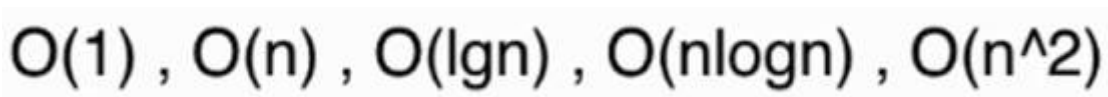
```
106
107     // 从数组中删除第一个元素, 返回删除的元素
108     public E removeFirst(){
109         return remove(0);
110     }
111
112     // 从数组中删除最后一个元素, 返回删除的元素
113     public E removeLast(){
114         return remove(size - 1);
115     }
116
117     // 从数组中删除元素e
118     public void removeElement(E e){
119         int index = find(e);
120         if(index != -1)
121             remove(index);
122     }
123
124     @Override
125     public String toString(){
126
127         StringBuilder res = new StringBuilder();
128         res.append(String.format("Array: size = %d , capacity = %d\n",
    size, data.length));
129         res.append('[');
130         for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
131             res.append(data[i]);
132             if(i != size - 1)
133                 res.append(", ");
134         }
135         res.append(']');
136         return res.toString();
137     }
138
139     // 将数组空间的容量变成newCapacity大小
140     private void resize(int newCapacity){
141
142         E[] newData = (E[])new Object[newCapacity];
143         for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
144             newData[i] = data[i];
145         data = newData;
146     }
147 }
148
```

数组时间复杂度算法简单分析

1， 简单复杂度分析

通过时间复杂度分析出算法的性能如何

时间复杂度通常是如下表示的



读作大O1 大On大O nlogn 大On平方

这里的这个大O就是描述的算法的运行时间和输入数据之间的关系

什么是运行时间和输入数据之间的关系呢？通过下面例子来演示

```
public static int sum(int[] nums){
        int sum = 0;
        for(int num: nums) sum += num;
        return sum;
}
```

O(n)

n是nums中的元素个数

算法和n呈线性关系

也就是说这里产生了n个数，那么n的数量是多少，对应的时间也就线性增加，但其实，每个n并非是时间系数为1的.

比如：操作每一个数（temp），需要从这个这个数组中通过for循环取出来，然后需要取出sum并与temp加在一起重新再赋值给sum，对于每个数其实都是需需要这么多操作的，那么这样的操作所花费的时间系数，我们称之为C1，那么在开始计算之前可能还需要赋值sum=0，完成计算后还要返回这个sum，这些每次都有的操作所花费的等同的时间叫做c2

- 为什么要用大O，叫做O(n)?　　忽略常数。实际时间 T = c1*n + c2

为什么要忽略这个c1，c2呢，因为拿这里的c1来说，就算是直接使用，基于不同的语言，执行时间段也是不同的，就算是执行时间相同，底层的操作系统的汇编层面或者机器语言所花费的解析时间也不同，而且不同的cpu也是不同的，因此c2也是同理。接下来看一组结论和案例对比：

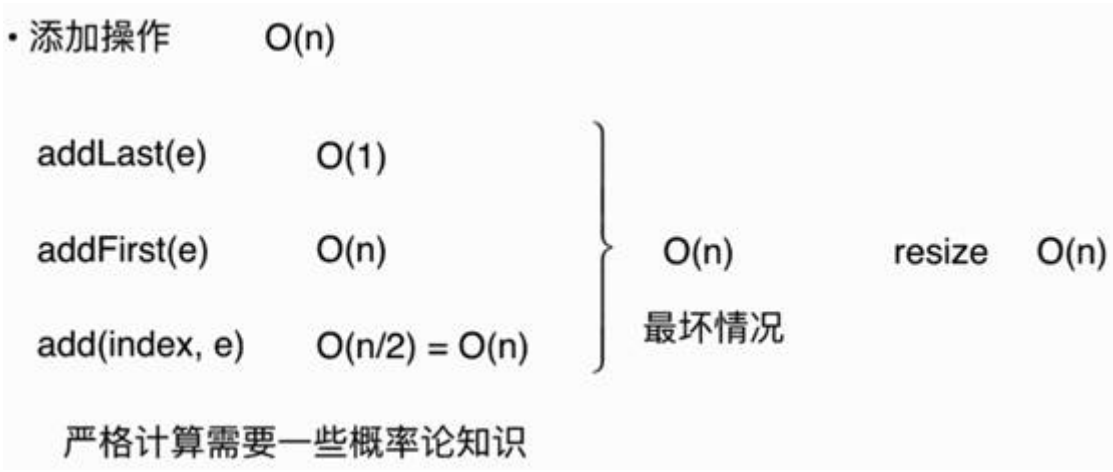
T = 2*n + 2	O(n)
T = 2000*n + 10000	O(n)
T = 1*n*n + 0	O(n^2)

T = 2*n + 2	O(n)	
T = 2000*n + 10000	O(n)	渐进时间复杂度
T = 1*n*n + 0	O(n^2)	描述n趋近于无穷的情况

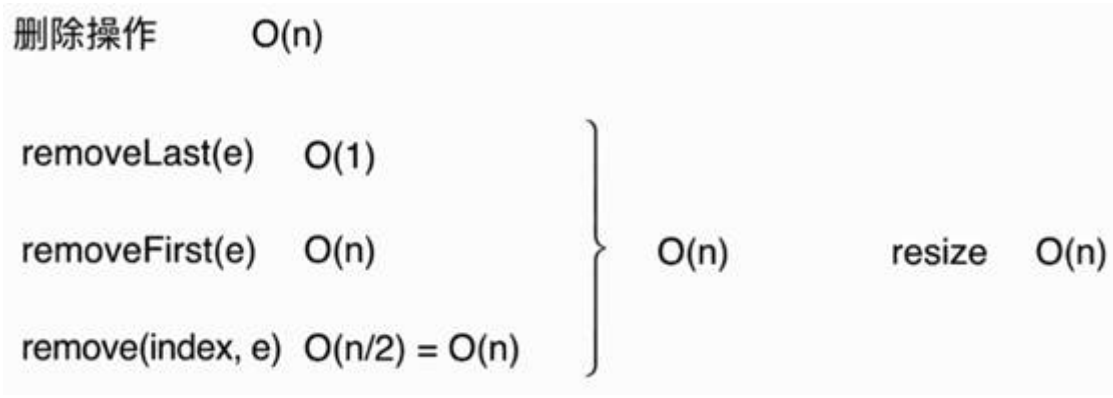
这里的时间复杂度描述的不是临界值，而是n趋近于无穷时候，这个算法谁块谁慢，同理，在这种情况下，低阶项实际上也很小，可以看做也是一个常数，忽略不计

T = 2*n*n + 300n + 10	O(n^2)

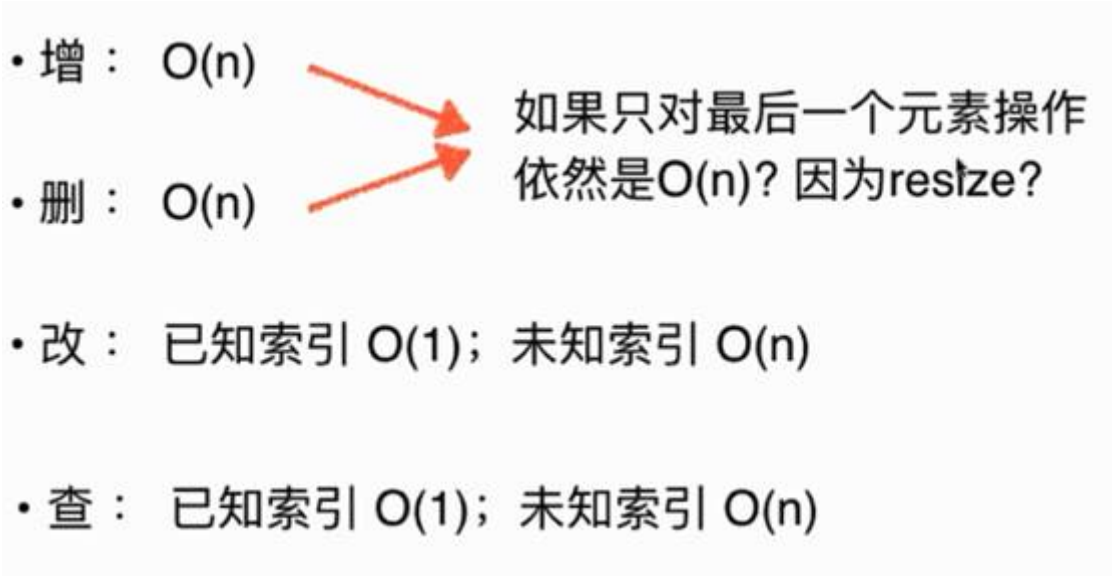
分析自定义数组的各项操作



针对删除操作，删除1个跟删除n个平均来看，就是n/2，1/2也是一个常数系数，舍去系数O（n）



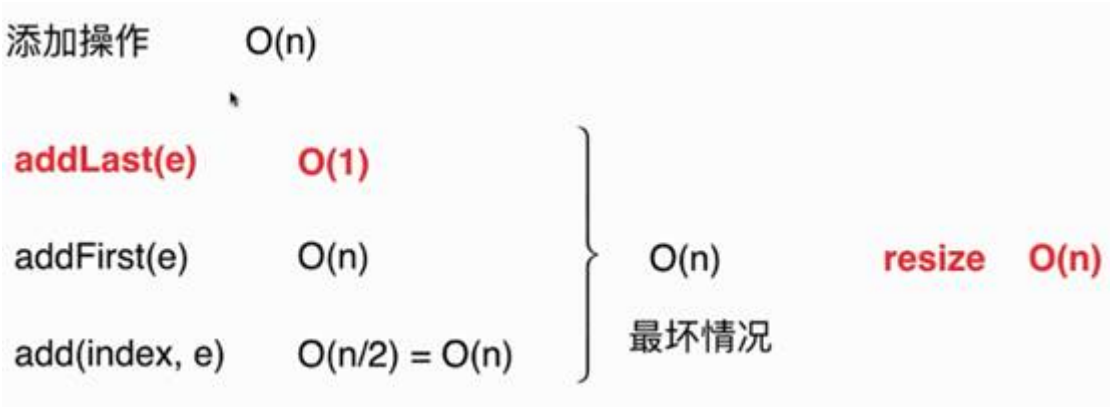
结论：



问题：删除和增加的分析完全使用最坏时间复杂度来分析是不合理的，因为并不是所有的操作都会触发这个容积的扩容

2， 均摊复杂度和防止复杂度的震荡

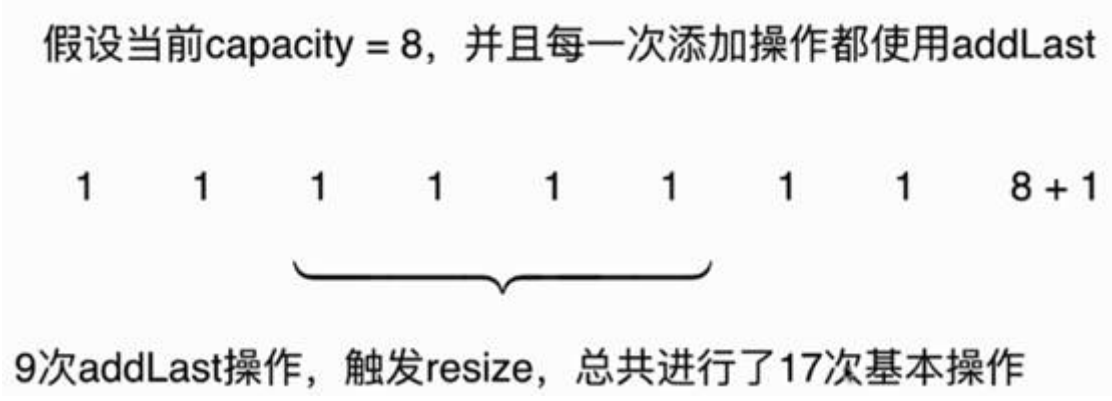
分析增加操作中触发resize操作的条件



分析：假如一个数组的capacity是10个元素，那么添加10个元素才可能会触发一次resize，此时触发resize之后数组的容量就会变成20，此时再添加10个才会再次触发这个resize，这个时候会变成capacity为40，也就是再添加20个数，才会触发resize，也就是说不会是每次添加一个元素都会触发resize，而我们却一直用最坏时间复杂度分析，这样是不合理的

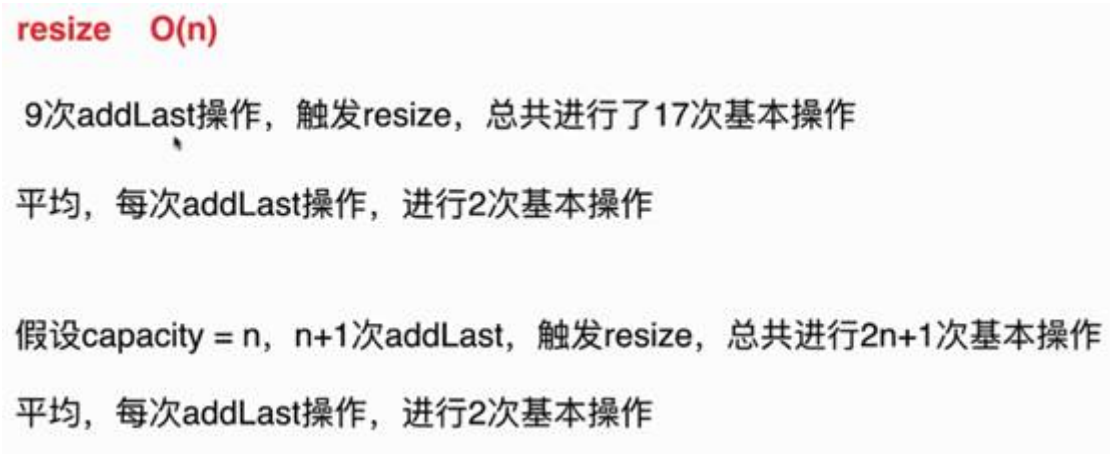
再次深入分析，案例如下：

在resize之前，所有的操作都是O（1）级别，而在addlast为第9个时候需要扩容，那么第九次等于for循环所有数组里的值进入新数组的时间和，再加1次add操作

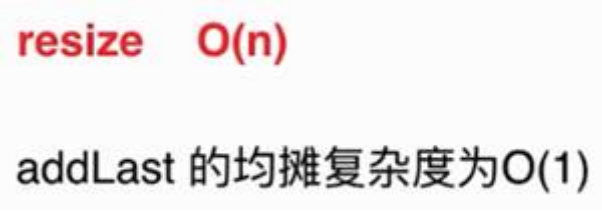


所以，对于addLast来说，9次操作，平均来讲，每次的操作接近2次基本操作

结论



这样均摊计算，时间复杂度是O（1）级别，在这样的例子里，这样均摊计算比计算最坏情况有意义

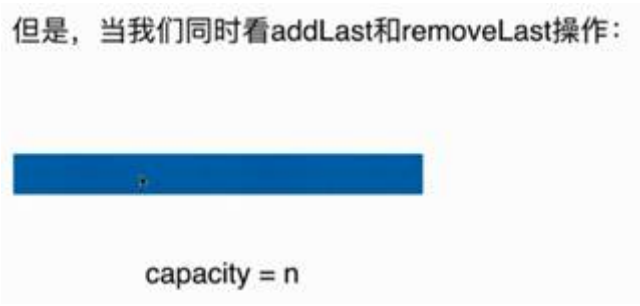


按照这样理解removeLast的均摊时间复杂度也是O（1）级别

但是这样会引发下一个问题

3，复杂度震荡

初始条件

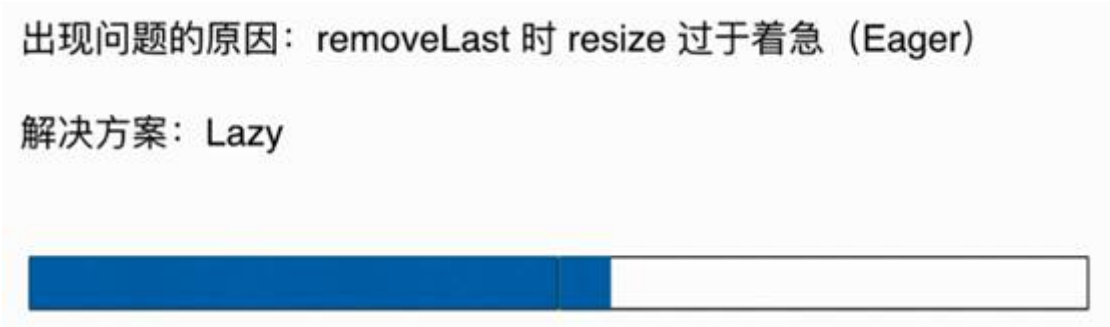


这个时候增加一个元素，触发的是扩容操作，加一个元素

马上又进行removeLast的操作，此时又会触发缩容的操作，再次调用resize，时间复杂度依然是O（n）

一直这样循环呢？

解决办法



扩容没有办法减少时间复杂度的增加，但是缩小的时候，并不着急把扩到二倍的数组容量减少为原来的1倍，同理这个时候要扩容也不用再次O（n）的addLast操作而是O（1）

当全部元素只剩下原来的4分1，也就是说


```java
public class Array<E> {
    private E[] data;
    private int size;
    // 构造函数，传入数组的容量capacity构造Array
    public Array(int capacity){
        data = (E[])new Object[capacity];
        size = 0;
    }

    // 无参数的构造函数，默认数组的容量capacity=10
    public Array(){
        this(10);
    }

    // 获取数组的容量
    public int getCapacity(){
        return data.length;
    }

    // 获取数组中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }
```

```java

    // 返回数组是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在index索引的位置插入一个新元素e
    public void add(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index >= 0 and index <= size.");

        if(size == data.length)
            resize(2 * data.length);

        for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
            data[i + 1] = data[i];

        data[index] = e;

        size ++;
    }

    // 向所有元素后添加一个新元素
    public void addLast(E e){
        add(size, e);
    }

    // 在所有元素前添加一个新元素
    public void addFirst(E e){
        add(0, e);
    }

    // 获取index索引位置的元素
    public E get(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Index is illegal.");
        return data[index];
    }

    // 修改index索引位置的元素为e
    public void set(int index, E e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Index is illegal.");
        data[index] = e;
    }

    // 查找数组中是否有元素e
    public boolean contains(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return true;
        }
        return false;
    }
```

```
79
80      // 查找数组中元素e所在的索引，如果不存在元素e，则返回-1
81      public int find(E e){
82          for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
83              if(data[i].equals(e))
84                  return i;
85          }
86          return -1;
87      }
88
89      // 从数组中删除index位置的元素，返回删除的元素
90      public E remove(int index){
91          if(index < 0 || index >= size)
92              throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is
    illegal.");
93
94          E ret = data[index];
95          for(int i = index + 1 ; i < size ; i ++)
96              data[i - 1] = data[i];
97          size --;
98          data[size] = null; // loitering objects != memory leak
99  //对于动态数组来说，不能够在缩容的时候让他的值等于0
100         if(size == data.length / 4 && data.length / 2 != 0)
101             resize(data.length / 2);
102         return ret;
103     }
104
105     // 从数组中删除第一个元素，返回删除的元素
106     public E removeFirst(){
107         return remove(0);
108     }
109
110     // 从数组中删除最后一个元素，返回删除的元素
111     public E removeLast(){
112         return remove(size - 1);
113     }
114
115     // 从数组中删除元素e
116     public void removeElement(E e){
117         int index = find(e);
118         if(index != -1)
119             remove(index);
120     }
121
122     @Override
123     public String toString(){
124
125         StringBuilder res = new StringBuilder();
126         res.append(String.format("Array: size = %d , capacity = %d\n",
    size, data.length));
127         res.append('[');
128         for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
129             res.append(data[i]);
130             if(i != size - 1)
131                 res.append(", ");
132         }
133         res.append(']');
134         return res.toString();
```

```
135     }
136
137     // 将数组空间的容量变成newCapacity大小
138     private void resize(int newCapacity){
139
140         E[] newData = (E[])new Object[newCapacity];
141         for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
142             newData[i] = data[i];
143         data = newData;
144     }
145 }
146
```

栈（stack）

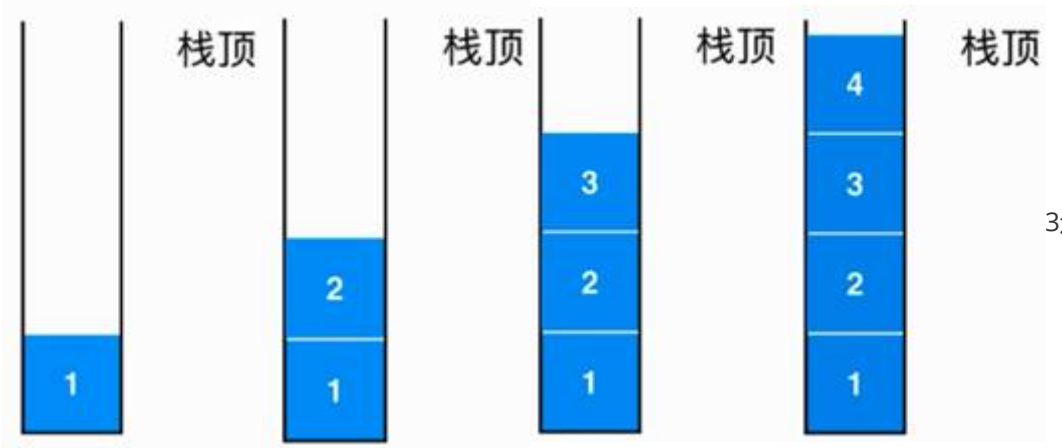
Stack是一种线性结构

相比数组，栈对应的操作是数组的子集，而且他的操作更少

只能从唯一的一端添加元素，也只能从这个唯一的一端取出元素

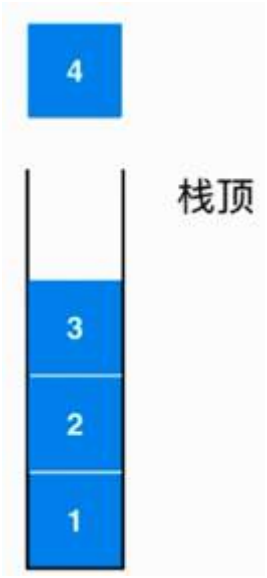
这个唯一的一端称为栈顶

展示元素入栈的过程



3这个元素只能在这个位置，不可以插入2和1元素之间

展示元素出栈的过程



小结：

1， 栈是一种后进先出的数据结构

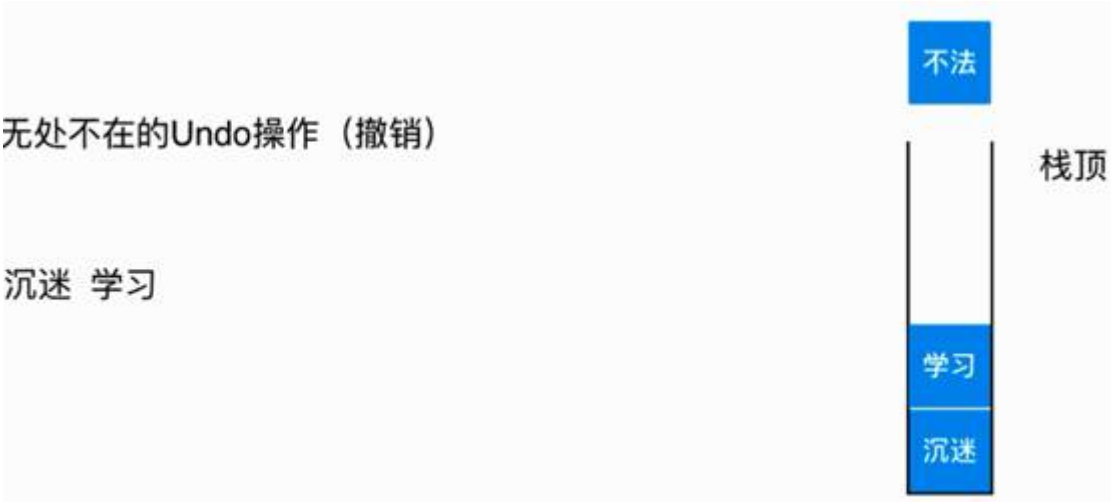
2， Last In First Out(LIFO)

3， Stack在计算机的运用里拥有不可思议的作用

案例1

沉迷学习无法自拔

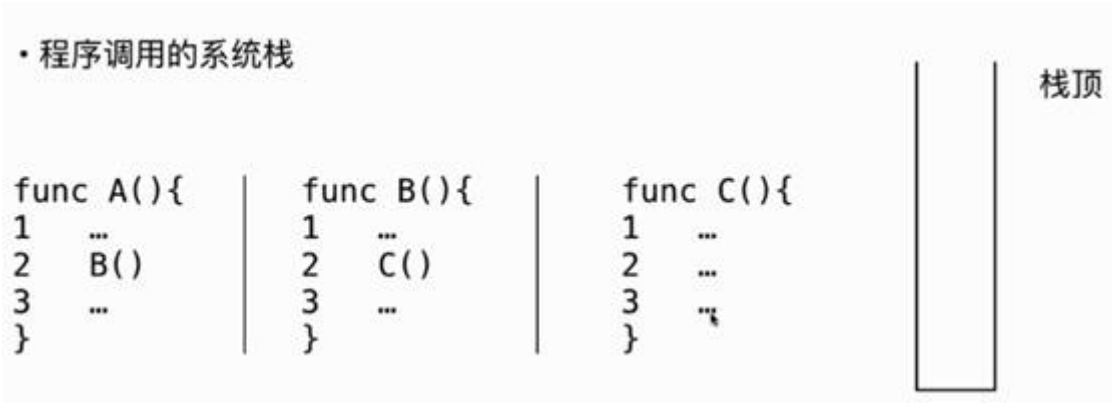
最直接的一个案例，比如word中的文字撤销操作，比如以下的撤销不法，当这个不法两个字被撤销后，不需要再保留他们，直接出栈



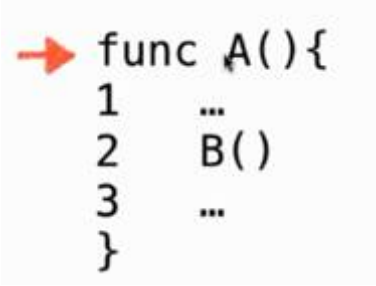
输入正确的内容和顺序

案例2

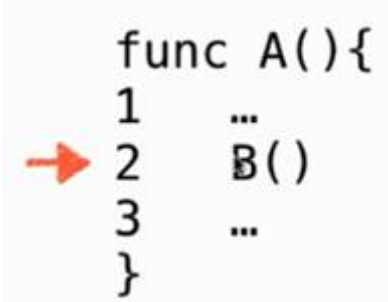
程序调用的系统栈



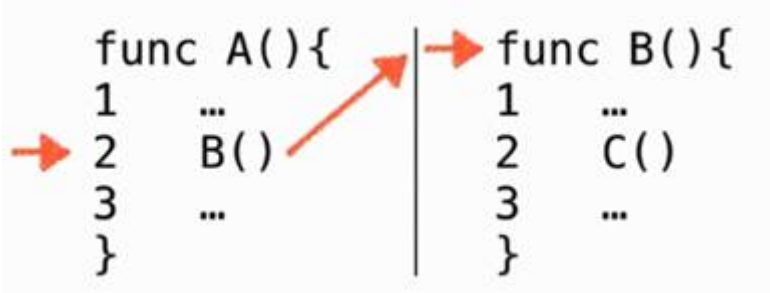
首先执行A这个函数



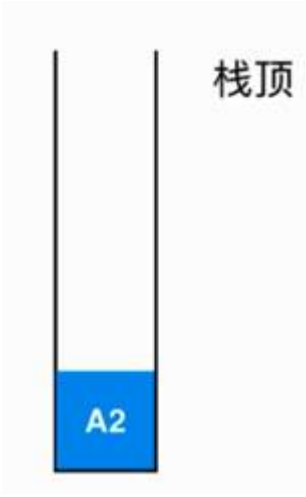
顺序执行1,2,3，行，当在执行到第二行的时候



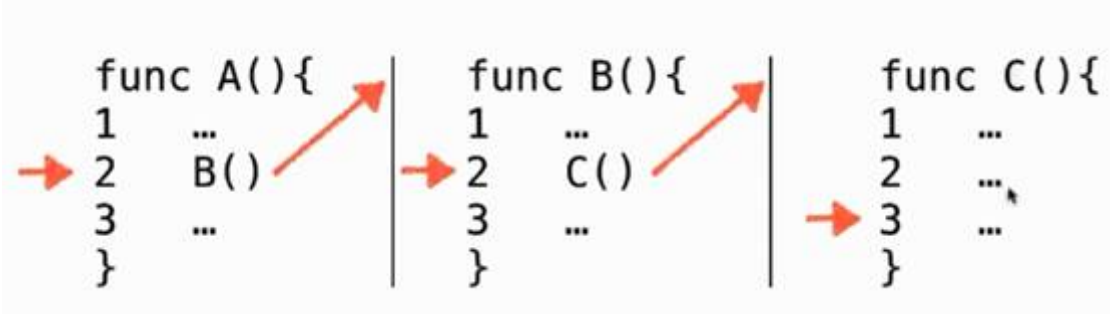
会跳去执行B这个函数，a函数会暂时中断



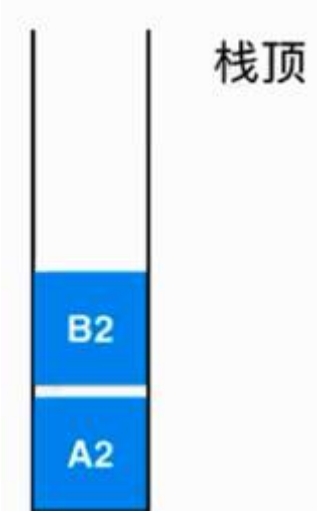
此时可以在系统栈中认为，A函数执行到了第二行，记为A2



然后继续执行

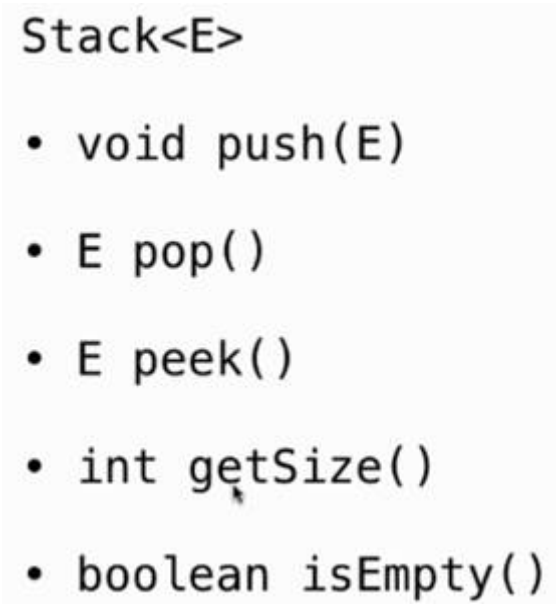


同理

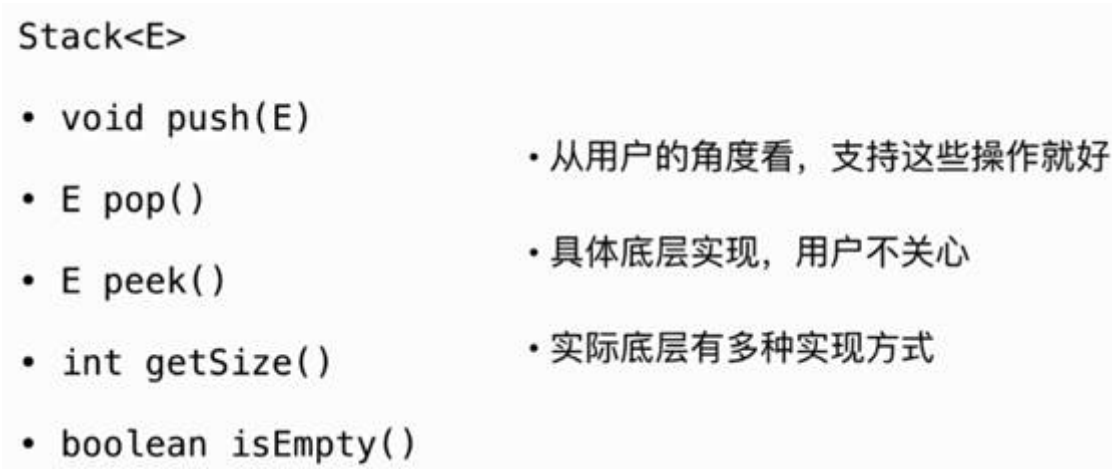


最后C函数在执行完成之后，就会回到B2继续执行，然后执行完成，B2出栈，剩下一个A2，继续执行A函数的内容最后A2出栈函数全部执行完毕

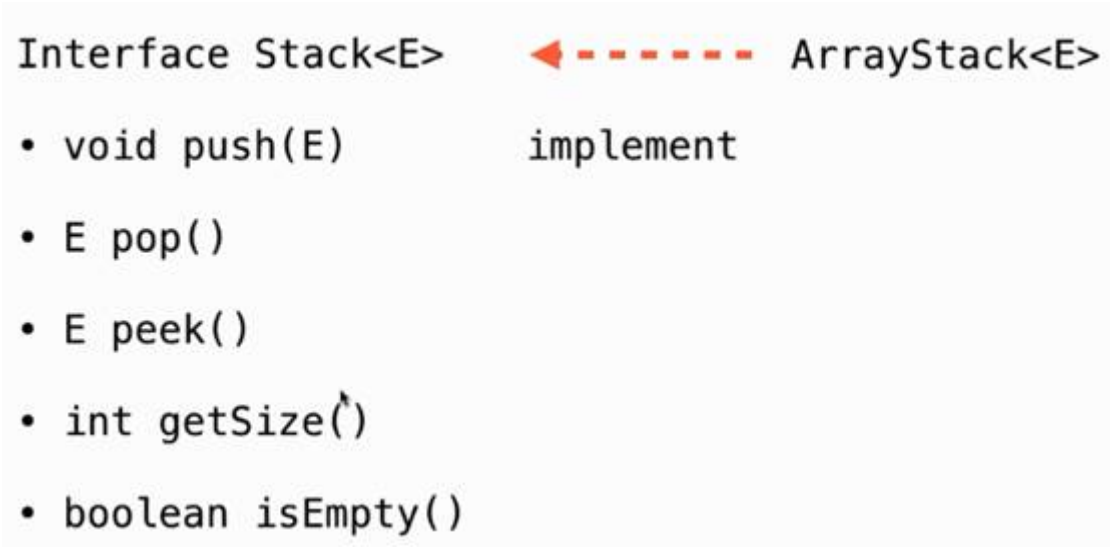
栈的基本实现



栈的实现有很多种数据结构的方式，数组实现只是其中一种



栈的实现结构



对应的array的数组，增加部分加粗标红

Array

```
1
2  public class Array<E> {
3
4      private E[] data;
5      private int size;
6
7      // 构造函数，传入数组的容量capacity构造Array
8      public Array(int capacity){
9          data = (E[])new Object[capacity];
10         size = 0;
11     }
12
13     // 无参数的构造函数，默认数组的容量capacity=10
14     public Array(){
15         this(10);
16     }
17
18     // 获取数组的容量
19     public int getCapacity(){
20         return data.length;
21     }
22
23     // 获取数组中的元素个数
24     public int getSize(){
25         return size;
26     }
27
28     // 返回数组是否为空
29     public boolean isEmpty(){
30         return size == 0;
31     }
32
33     // 在index索引的位置插入一个新元素e
34     public void add(int index, E e){
35
36         if(index < 0 || index > size)
37             throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index
   >= 0 and index <= size.");
38
39         if(size == data.length)
40             resize(2 * data.length);
41
42         for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
43             data[i + 1] = data[i];
44
45         data[index] = e;
46
47         size ++;
48     }
49
50     // 向所有元素后添加一个新元素
51     public void addLast(E e){
52         add(size, e);
53     }
54
```

```
    // 在所有元素前添加一个新元素
    public void addFirst(E e){
        add(0, e);
    }

    // 获取index索引位置的元素
    public E get(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Index is
illegal.");
        return data[index];
    }

    public E getLast(){
        return get(size - 1);
    }

    public E getFirst(){
        return get(0);
    }

    // 修改index索引位置的元素为e
    public void set(int index, E e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Index is
illegal.");
        data[index] = e;
    }

    // 查找数组中是否有元素e
    public boolean contains(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return true;
        }
        return false;
    }

    // 查找数组中元素e所在的索引，如果不存在元素e，则返回-1
    public int find(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return i;
        }
        return -1;
    }

    // 从数组中删除index位置的元素，返回删除的元素
    public E remove(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is
illegal.");

        E ret = data[index];
        for(int i = index + 1 ; i < size ; i ++)
            data[i - 1] = data[i];
        size --;
        data[size] = null; // loitering objects != memory leak
```

```
110
111         if(size == data.length / 4 && data.length / 2 != 0)
112             resize(data.length / 2);
113         return ret;
114     }
115
116     // 从数组中删除第一个元素, 返回删除的元素
117     public E removeFirst(){
118         return remove(0);
119     }
120
121     // 从数组中删除最后一个元素, 返回删除的元素
122     public E removeLast(){
123         return remove(size - 1);
124     }
125
126     // 从数组中删除元素e
127     public void removeElement(E e){
128         int index = find(e);
129         if(index != -1)
130             remove(index);
131     }
132
133     @Override
134     public String toString(){
135
136         StringBuilder res = new StringBuilder();
137         res.append(String.format("Array: size = %d , capacity = %d\n",
    size, data.length));
138         res.append('[');
139         for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
140             res.append(data[i]);
141             if(i != size - 1)
142                 res.append(", ");
143         }
144         res.append(']');
145         return res.toString();
146     }
147
148     // 将数组空间的容量变成newCapacity大小
149     private void resize(int newCapacity){
150
151         E[] newData = (E[])new Object[newCapacity];
152         for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
153             newData[i] = data[i];
154         data = newData;
155     }
156 }
157
```

Stack

```java
public interface Stack<E> {
    int getSize();
    boolean isEmpty();
    void push(E e);
    E pop();
    E peek();
}

```

ArrayStack

```java
public class ArrayStack<E> implements Stack<E> {

    private Array<E> array;

    public ArrayStack(int capacity){
        array = new Array<>(capacity);
    }

    public ArrayStack(){
        array = new Array<>();
    }

    @Override
    public int getSize(){
        return array.getSize();
    }

    @Override
    public boolean isEmpty(){
        return array.isEmpty();
    }

    public int getCapacity(){
        return array.getCapacity();
    }

    @Override
    public void push(E e){
        array.addLast(e);
    }

    @Override
    public E pop(){
        return array.removeLast();
    }

    @Override
    public E peek(){
        return array.getLast();
    }

    @Override
    public String toString(){
        StringBuilder res = new StringBuilder();
        res.append("Stack: ");
```

```
        res.append('[');
        for(int i = 0 ; i < array.getSize() ; i ++){
            res.append(array.get(i));
            if(i != array.getSize() - 1)
                res.append(", ");
        }
        res.append("] top");
        return res.toString();
    }
}

```

Main

```
public class Main {

    public static void main(String[] args) {

        ArrayStack<Integer> stack = new ArrayStack<>();

        for(int i = 0 ; i < 5 ; i ++){
            stack.push(i);
            System.out.println(stack);
        }

        stack.pop();
        System.out.println(stack);
    }
}

```

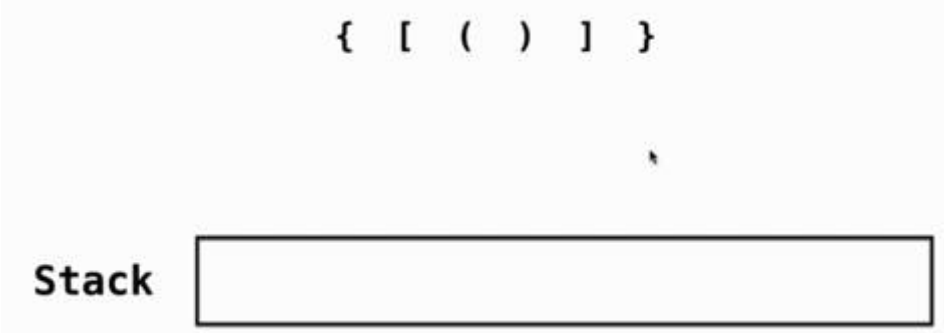
栈的时间复杂度分析

Stack案例实操（编译器对括号的匹配报错机制）

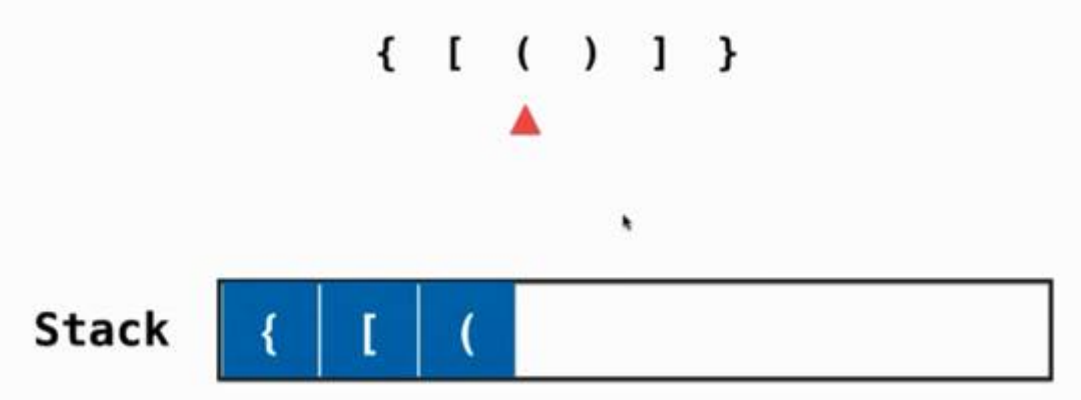
给定一个只包括 '('，')'，'{'，'}'，'['，']' 的字符串，判断字符串是否有效。

括号必须以正确的顺序关闭，"()" 和 "()[]{}" 是有效的但是 "(]" 和 "([)]" 不是。

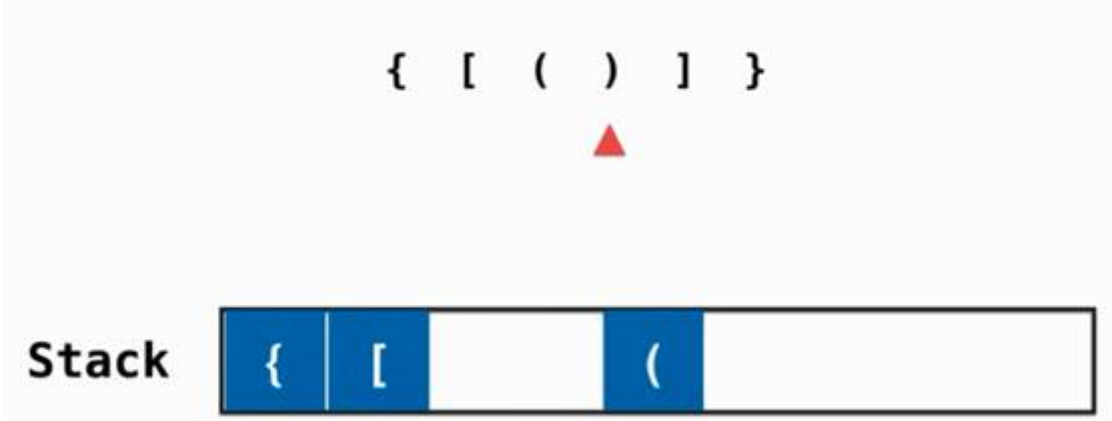
分析思路

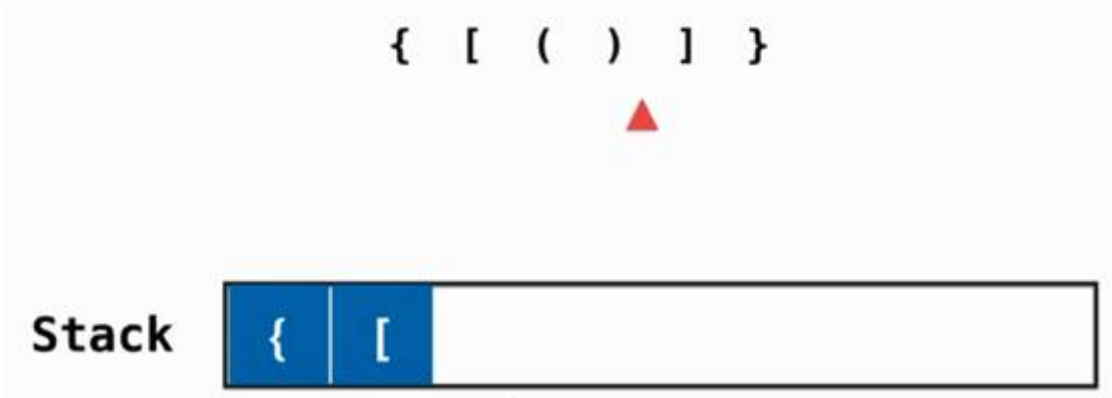


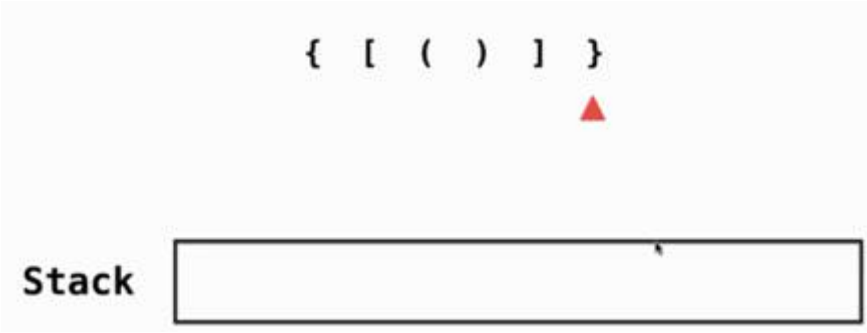
逐一加入栈结构



当开始匹配右括号的时候，需要看当前栈顶是否是和他匹配的，如果匹配那么当前栈顶的括号就可以出栈了







当全部出栈，那么当前的匹配就是一个合法的字符串

代码实现

```
import java.util.Stack;

class Solution {

    public boolean isValid(String s) {
```

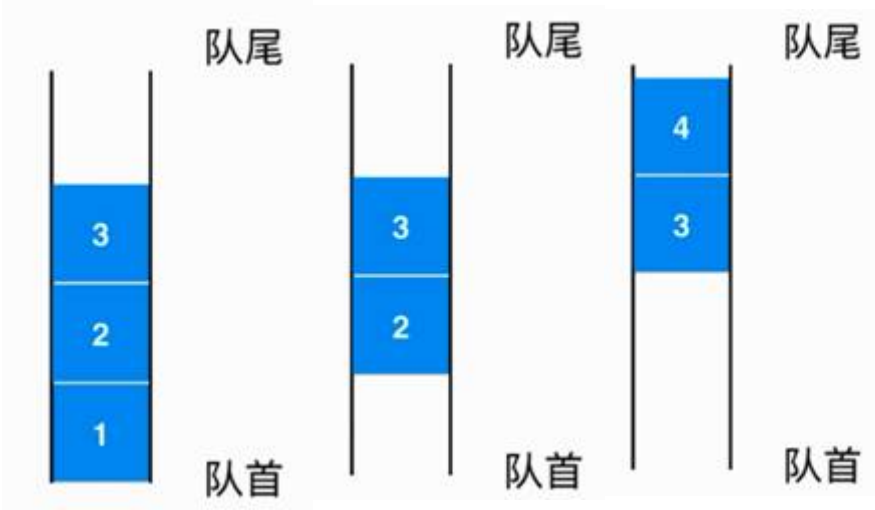
```
6
7           Stack<Character> stack = new Stack<>();
8           for(int i = 0 ; i < s.length() ; i ++){
9               char c = s.charAt(i);
10              if(c == '(' || c == '[' || c == '{')
11                  stack.push(c);
12              else{
13                  if(stack.isEmpty())
14                      return false;
15
16                  char topChar = stack.pop();
17                  if(c == ')' && topChar != '(')
18                      return false;
19                  if(c == ']' && topChar != '[')
20                      return false;
21                  if(c == '}' && topChar != '{')
22                      return false;
23              }
24          }
25          return stack.isEmpty();
26      }
27
28      public static void main(String[] args) {
29
30          System.out.println((new Solution()).isValid("()[]{}"));
31          System.out.println((new Solution()).isValid("([)]"));
32      }
33  }
34
```

队列

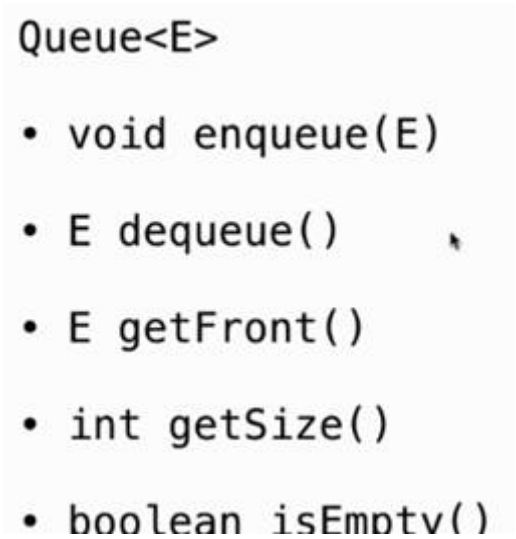
定义:

队列是一种线性结构

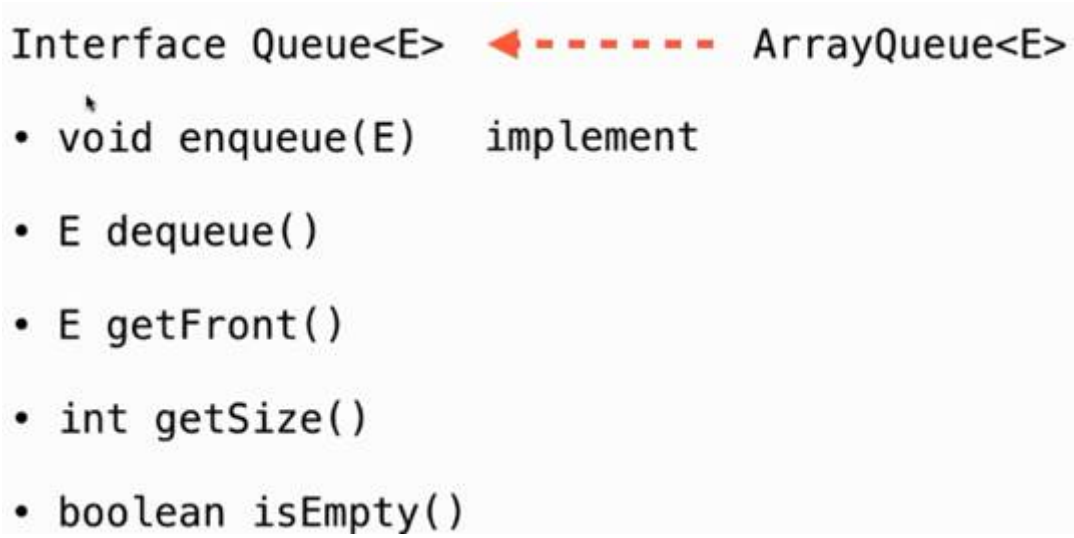
只能从一端（队尾）添加元素，只能从另一端（队首）取出元素



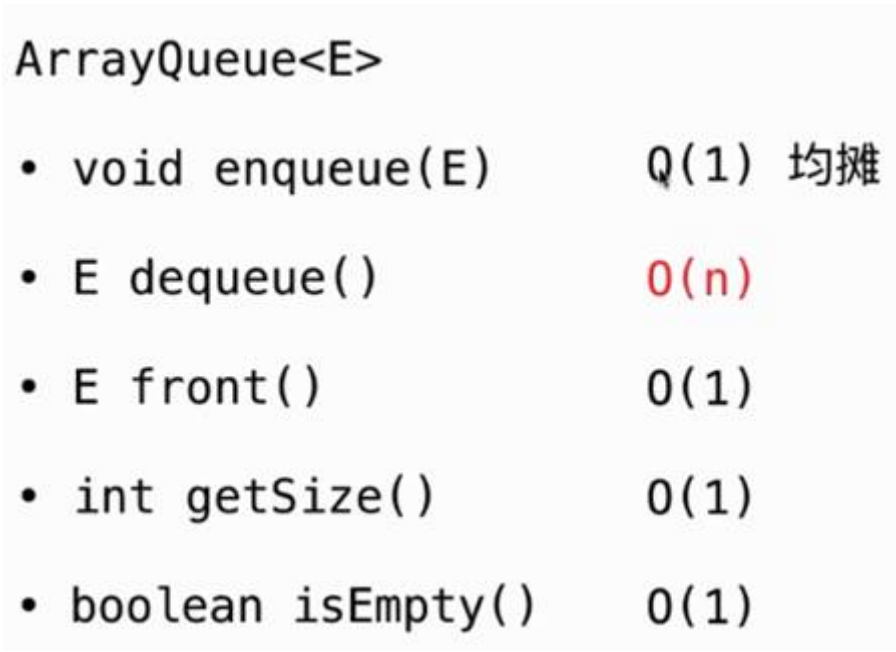
结论：队列是一种先进先出的数据结构（First in First out）



队列的实现



队列时间复杂度分析



Array

```
1
2  public class Array<E> {
```

```
3
4       private E[] data;
5       private int size;
6
7       // 构造函数，传入数组的容量capacity构造Array
8       public Array(int capacity){
9           data = (E[])new Object[capacity];
10          size = 0;
11      }
12
13      // 无参数的构造函数，默认数组的容量capacity=10
14      public Array(){
15          this(10);
16      }
17
18      // 获取数组的容量
19      public int getCapacity(){
20          return data.length;
21      }
22
23      // 获取数组中的元素个数
24      public int getSize(){
25          return size;
26      }
27
28      // 返回数组是否为空
29      public boolean isEmpty(){
30          return size == 0;
31      }
32
33      // 在index索引的位置插入一个新元素e
34      public void add(int index, E e){
35
36          if(index < 0 || index > size)
37              throw new IllegalArgumentException("Add failed. Require index
>= 0 and index <= size.");
38
39          if(size == data.length)
40              resize(2 * data.length);
41
42          for(int i = size - 1; i >= index ; i --)
43              data[i + 1] = data[i];
44
45          data[index] = e;
46
47          size ++;
48      }
49
50      // 向所有元素后添加一个新元素
51      public void addLast(E e){
52          add(size, e);
53      }
54
55      // 在所有元素前添加一个新元素
56      public void addFirst(E e){
57          add(0, e);
58      }
59
```

```
    // 获取index索引位置的元素
    public E get(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Index is illegal.");
        return data[index];
    }

    public E getLast(){
        return get(size - 1);
    }

    public E getFirst(){
        return get(0);
    }

    // 修改index索引位置的元素为e
    public void set(int index, E e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Index is illegal.");
        data[index] = e;
    }

    // 查找数组中是否有元素e
    public boolean contains(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return true;
        }
        return false;
    }

    // 查找数组中元素e所在的索引，如果不存在元素e，则返回-1
    public int find(E e){
        for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
            if(data[i].equals(e))
                return i;
        }
        return -1;
    }

    // 从数组中删除index位置的元素，返回删除的元素
    public E remove(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is illegal.");

        E ret = data[index];
        for(int i = index + 1 ; i < size ; i ++)
            data[i - 1] = data[i];
        size --;
        data[size] = null; // loitering objects != memory leak

        if(size == data.length / 4 && data.length / 2 != 0)
            resize(data.length / 2);
        return ret;
    }
```

```
115
116     // 从数组中删除第一个元素, 返回删除的元素
117     public E removeFirst(){
118         return remove(0);
119     }
120
121     // 从数组中删除最后一个元素, 返回删除的元素
122     public E removeLast(){
123         return remove(size - 1);
124     }
125
126     // 从数组中删除元素e
127     public void removeElement(E e){
128         int index = find(e);
129         if(index != -1)
130             remove(index);
131     }
132
133     @Override
134     public String toString(){
135
136         StringBuilder res = new StringBuilder();
137         res.append(String.format("Array: size = %d , capacity = %d\n",
    size, data.length));
138         res.append('[');
139         for(int i = 0 ; i < size ; i ++){
140             res.append(data[i]);
141             if(i != size - 1)
142                 res.append(", ");
143         }
144         res.append(']');
145         return res.toString();
146     }
147
148     // 将数组空间的容量变成newCapacity大小
149     private void resize(int newCapacity){
150
151         E[] newData = (E[])new Object[newCapacity];
152         for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
153             newData[i] = data[i];
154         data = newData;
155     }
156 }
157
```

ArrayQueue

```
1  public class ArrayQueue<E> implements Queue<E> {
2
3      private Array<E> array;
4
5      public ArrayQueue(int capacity){
6          array = new Array<>(capacity);
7      }
8
9      public ArrayQueue(){
10         array = new Array<>();
```

```java
    }

    @Override
    public int getSize(){
        return array.getSize();
    }

    @Override
    public boolean isEmpty(){
        return array.isEmpty();
    }

    public int getCapacity(){
        return array.getCapacity();
    }

    @Override
    public void enqueue(E e){
        array.addLast(e);
    }

    @Override
    public E dequeue(){
        return array.removeFirst();
    }

    @Override
    public E getFront(){
        return array.getFirst();
    }

    @Override
    public String toString(){
        StringBuilder res = new StringBuilder();
        res.append("Queue: ");
        res.append("front [");
        for(int i = 0 ; i < array.getSize() ; i ++){
            res.append(array.get(i));
            if(i != array.getSize() - 1)
                res.append(", ");
        }
        res.append("] tail");
        return res.toString();
    }

    public static void main(String[] args) {

        ArrayQueue<Integer> queue = new ArrayQueue<>();
        for(int i = 0 ; i < 10 ; i ++){
            queue.enqueue(i);
            System.out.println(queue);
            if(i % 3 == 2){
                queue.dequeue();
                System.out.println(queue);
            }
        }
    }
}
```

```
69
```

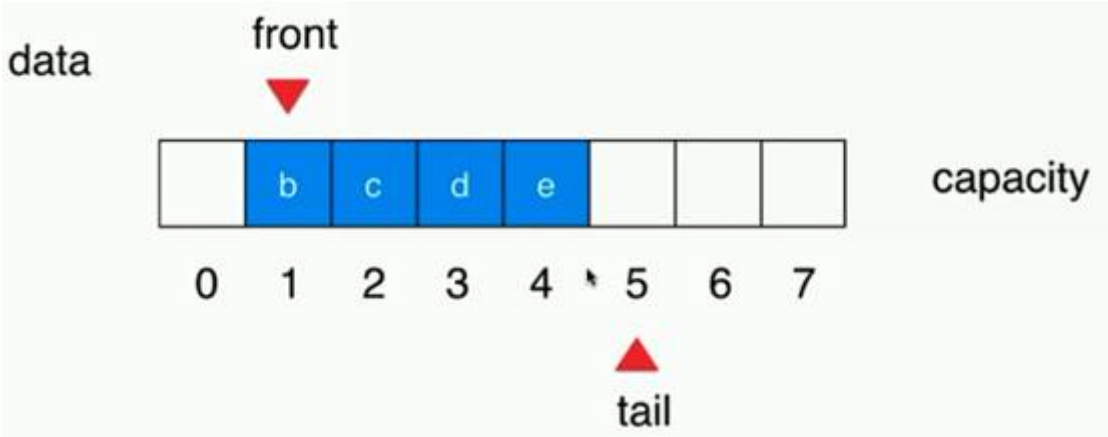
Queue

```java
public interface Queue<E> {

    int getSize();
    boolean isEmpty();
    void enqueue(E e);
    E dequeue();
    E getFront();
}

```

引出一个问题

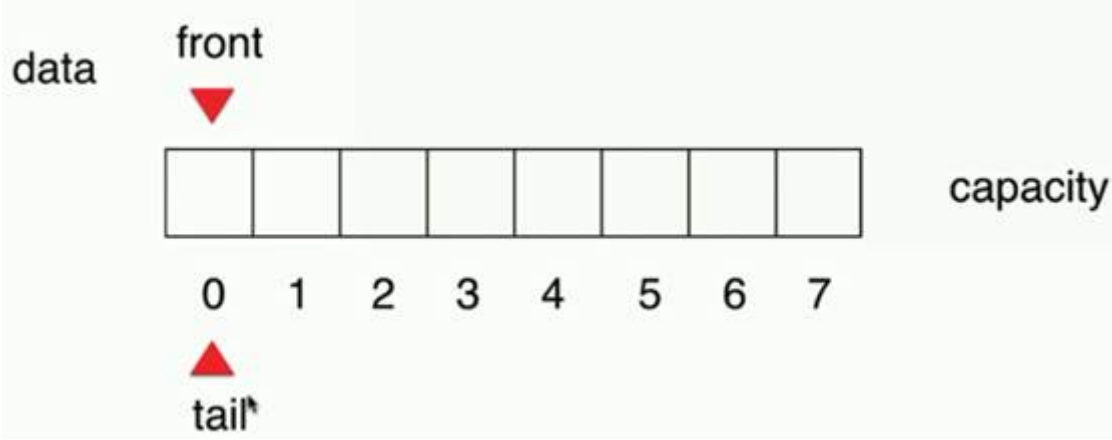
删除队首元素会引发O（n）的操作

因此提出指向一个队首和队尾的指针

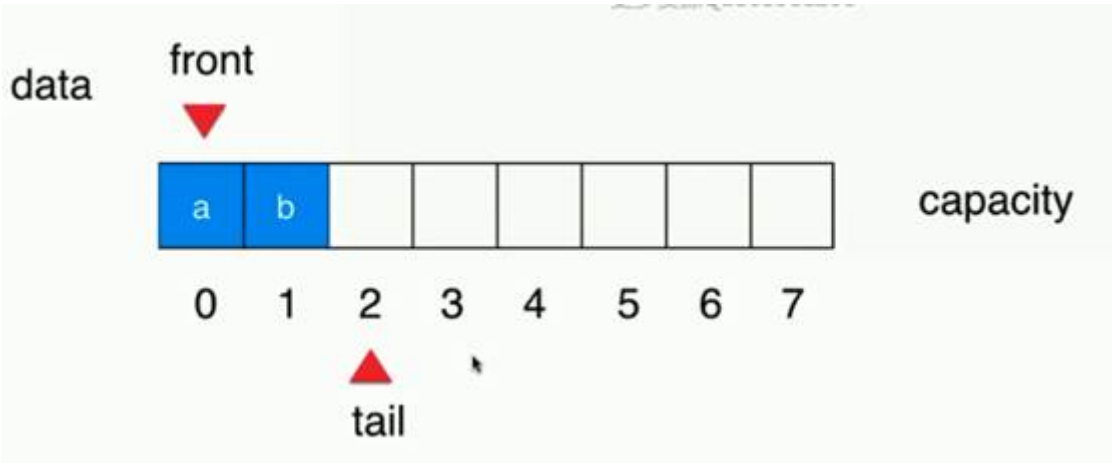


循环队列

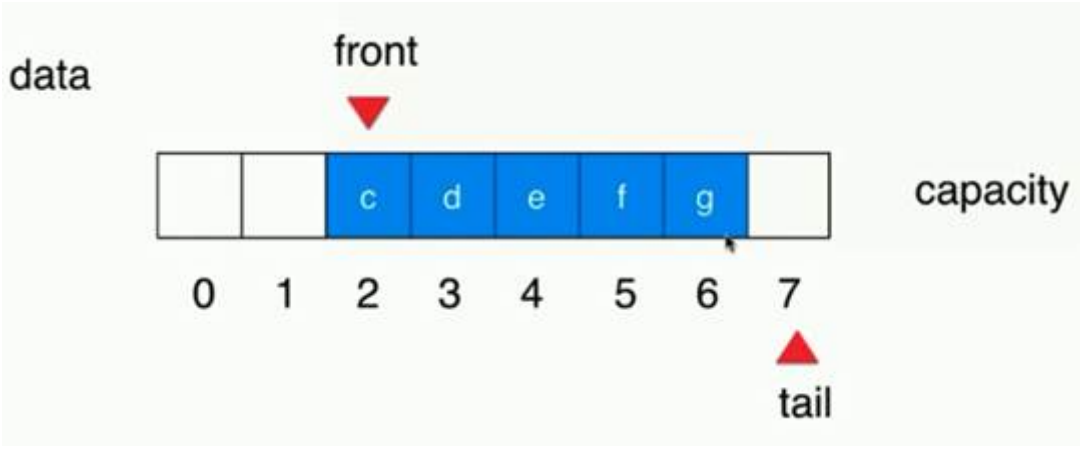
Front和tail相等的时候队列为空



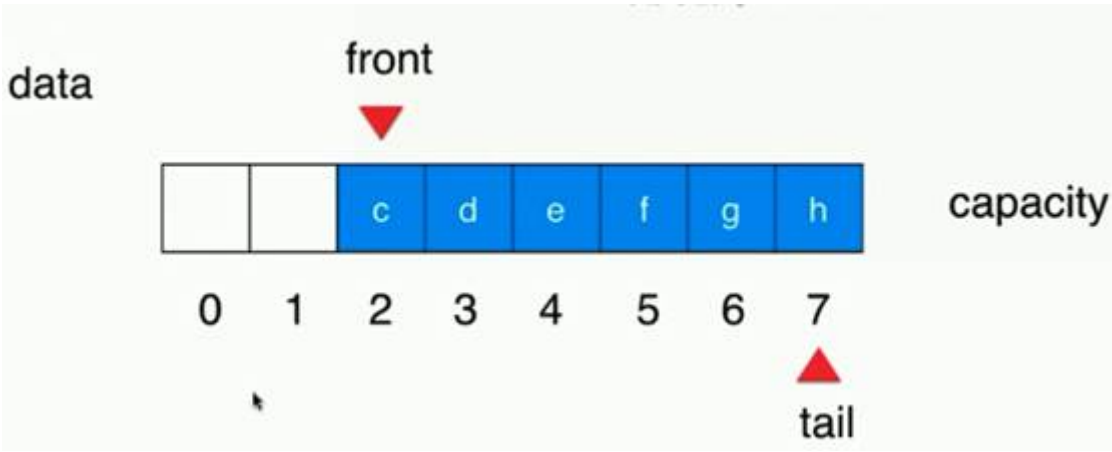
当往队首添加元素的时候



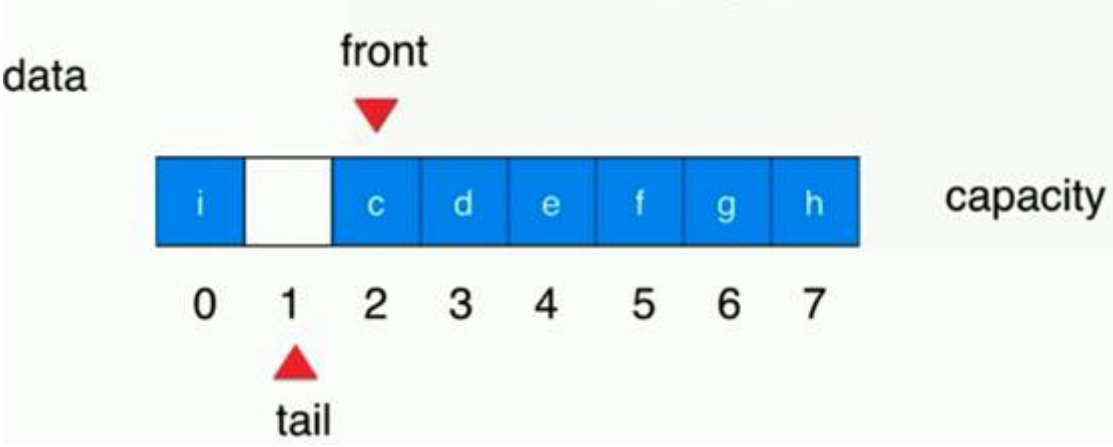
如果出现出队的同时又出现入队



当队尾出入队到容量的极限的时候，会先去看一下front之前有没有位置，



如果有空位



Tail会到回到容量的起始，再依次往后，（tail+1）%capacity(data.length)=front——》队列满，整个循环队列的结构是有意识地浪费了一个空间

```
private void resize(int newCapacity){

    E[] newData = (E[])new Object[newCapacity + 1];
    for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
        newData[i] = data[(i + front) % data.length];
}
```

解释一下循环队列的代码：

Newdata0-front

Newdata1-front+1

真正的队列偏移是front+i的，由于又是循环队列，因此防止数组越界，(front+i)%data.length

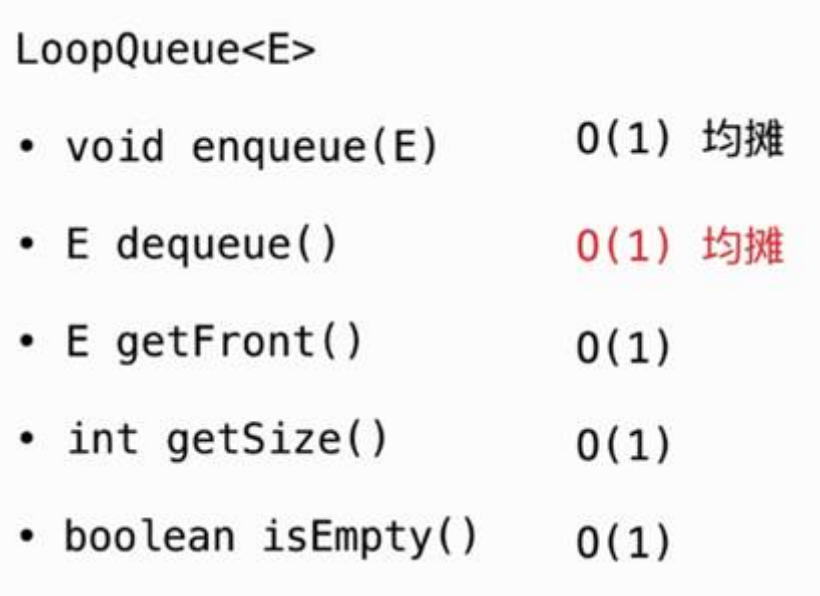
代码实现

```
public class LoopQueue<E> implements Queue<E> {

    private E[] data;
    private int front, tail;
    private int size;  // 有兴趣的同学，在完成这一章后，可以思考一下：
                       // LoopQueue中不声明size，如何完成所有的逻辑？
                       // 这个问题可能会比大家想象的要难一点点：）

    public LoopQueue(int capacity){
        data = (E[])new Object[capacity + 1];
        front = 0;
        tail = 0;
        size = 0;
    }

    public LoopQueue(){
        this(10);
    }

    public int getCapacity(){
        return data.length - 1;
    }

    @Override
    public boolean isEmpty(){
        return front == tail;
    }

    @Override
    public int getSize(){
        return size;
    }

    @Override
    public void enqueue(E e){

        if((tail + 1) % data.length == front)
            resize(getCapacity() * 2);
```

```
39
40          data[tail] = e;
41          tail = (tail + 1) % data.length;
42          size ++;
43      }
44
45      @Override
46      public E dequeue(){
47
48          if(isEmpty())
49              throw new IllegalArgumentException("Cannot dequeue from an
empty queue.");
50
51          E ret = data[front];
52          data[front] = null;
53          front = (front + 1) % data.length;
54          size --;
55          if(size == getCapacity() / 4 && getCapacity() / 2 != 0)
56              resize(getCapacity() / 2);
57          return ret;
58      }
59
60      @Override
61      public E getFront(){
62          if(isEmpty())
63              throw new IllegalArgumentException("Queue is empty.");
64          return data[front];
65      }
66
67      private void resize(int newCapacity){
68
69          E[] newData = (E[])new Object[newCapacity + 1];
70          for(int i = 0 ; i < size ; i ++)
71              newData[i] = data[(i + front) % data.length];
72
73          data = newData;
74          front = 0;
75          tail = size;
76      }
77
78      @Override
79      public String toString(){
80
81          StringBuilder res = new StringBuilder();
82          res.append(String.format("Queue: size = %d , capacity = %d\n",
size, getCapacity()));
83          res.append("front [");
84          for(int i = front ; i != tail ; i = (i + 1) % data.length){
85              res.append(data[i]);
86              if((i + 1) % data.length != tail)
87                  res.append(", ");
88          }
89          res.append("] tail");
90          return res.toString();
91      }
92
93      public static void main(String[] args){
94
```

```
        LoopQueue<Integer> queue = new LoopQueue<>();
        for(int i = 0 ; i < 10 ; i ++){
            queue.enqueue(i);
            System.out.println(queue);

            if(i % 3 == 2){
                queue.dequeue();
                System.out.println(queue);
            }
        }
    }
}

```

循环队列与数组队列的时间复杂度分析




```
import java.util.Random;

public class Main {

    // 测试使用q运行opCount个enqueueu和dequeue操作所需要的时间，单位：秒
    private static double testQueue(Queue<Integer> q, int opCount){

        long startTime = System.nanoTime();

        Random random = new Random();
        for(int i = 0 ; i < opCount ; i ++)
            q.enqueue(random.nextInt(Integer.MAX_VALUE));
        for(int i = 0 ; i < opCount ; i ++)
            q.dequeue();

        long endTime = System.nanoTime();

        return (endTime - startTime) / 1000000000.0;
    }

    public static void main(String[] args) {

        int opCount = 100000;
```

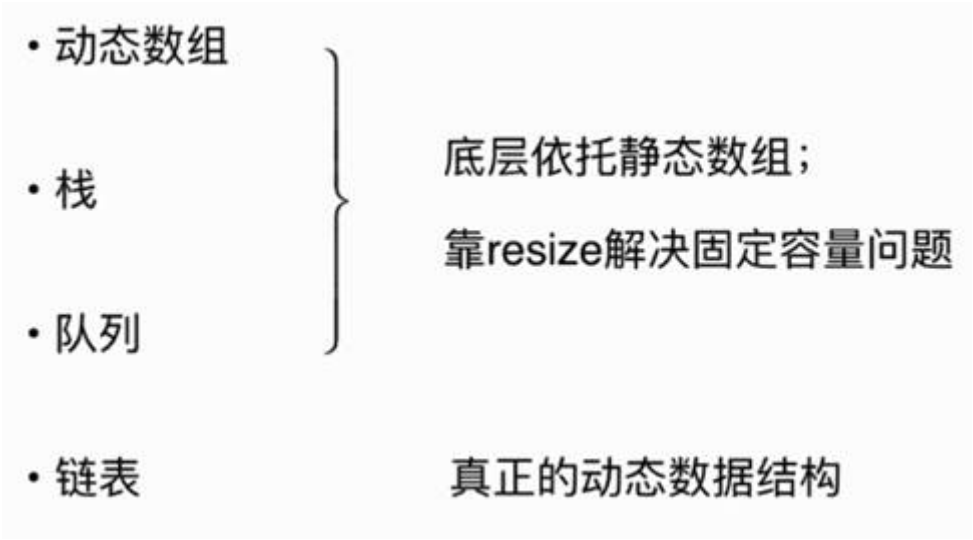
```
24
25          ArrayQueue<Integer> arrayQueue = new ArrayQueue<>();
26          double time1 = testQueue(arrayQueue, opCount);
27          System.out.println("ArrayQueue, time: " + time1 + " s");
28
29          LoopQueue<Integer> loopQueue = new LoopQueue<>();
30          double time2 = testQueue(loopQueue, opCount);
31          System.out.println("LoopQueue, time: " + time2 + " s");
32      }
33  }
34
```

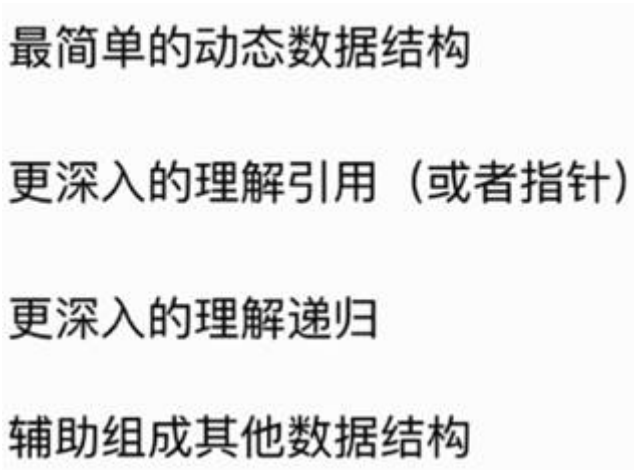
链表

前瞻课程：

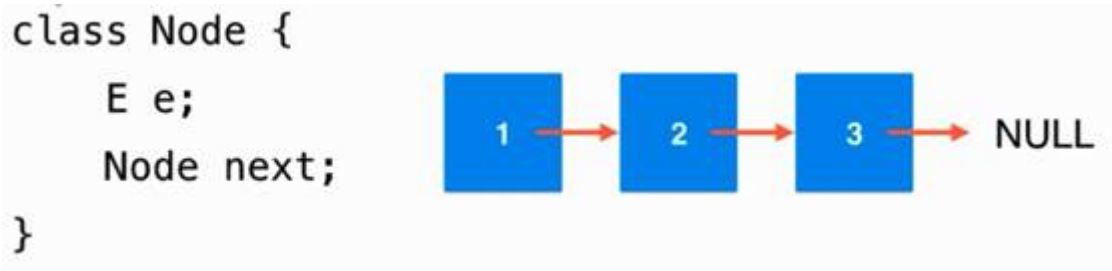
内部类

链表是一种真正的动态数据结构





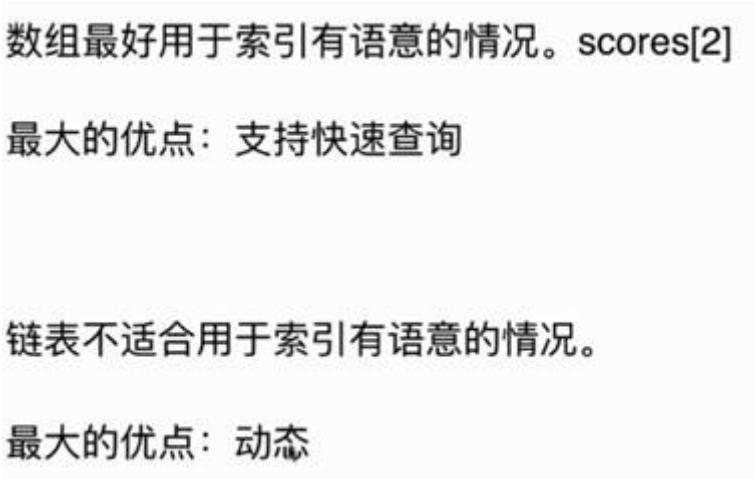
数据存储在“节点”（node）中



优点：真正的动态，不需要处理固定容量的问题,不需要跟动态数组一样，一下子new出来这么多的空间

缺点：丧失了随机访问的能力（无法如数组那样，根据索引查询元素，只能根据指向线索进行索引）

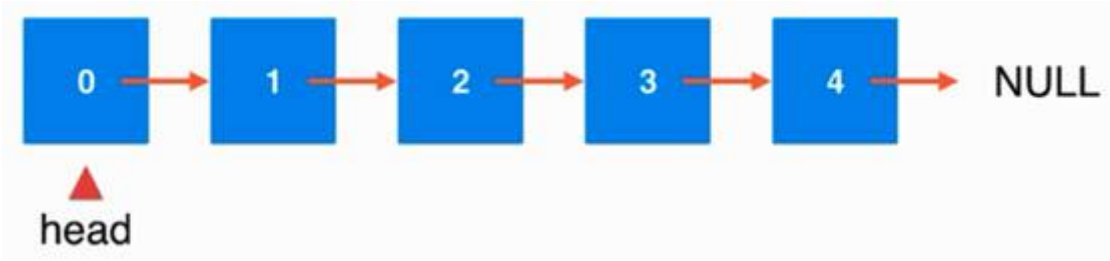
数组结构和链表结构的对比



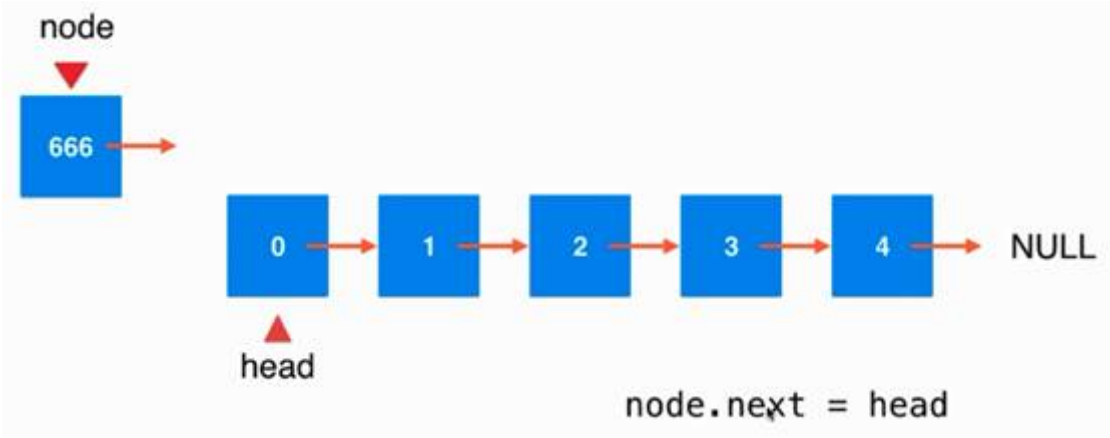
动态链表基础结构

```java
public class LinkedList<E> {
    private class Node{
        public E e;
        public Node next;
        public Node(E e, Node next){
            this.e = e;
            this.next = next;
        }
        public Node(E e){
            this(e, null);
        }
        public Node(){
            this(null, null);
        }
        @Override
        public String toString(){
            return e.toString();
        }
    }
}

```

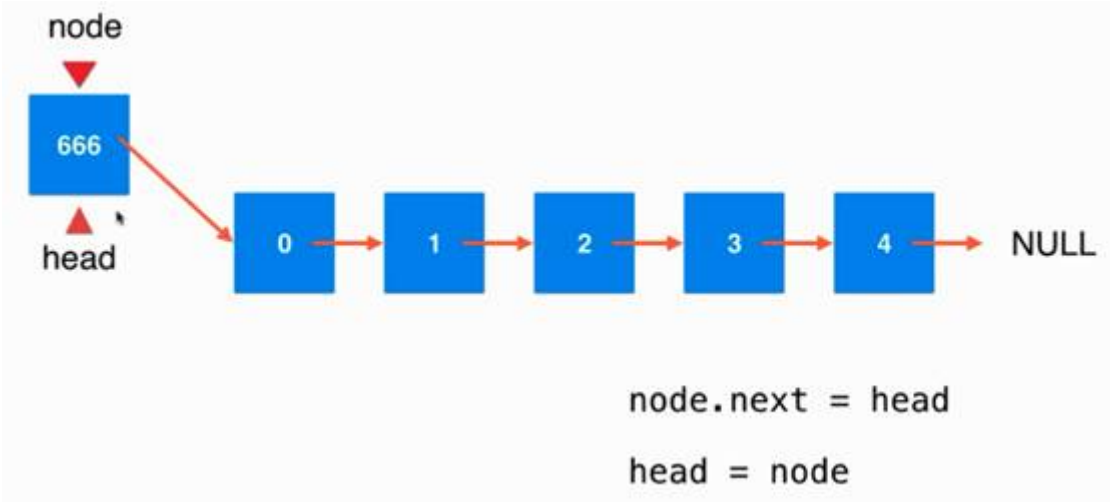
给链表中添加元素



在表头添加数据

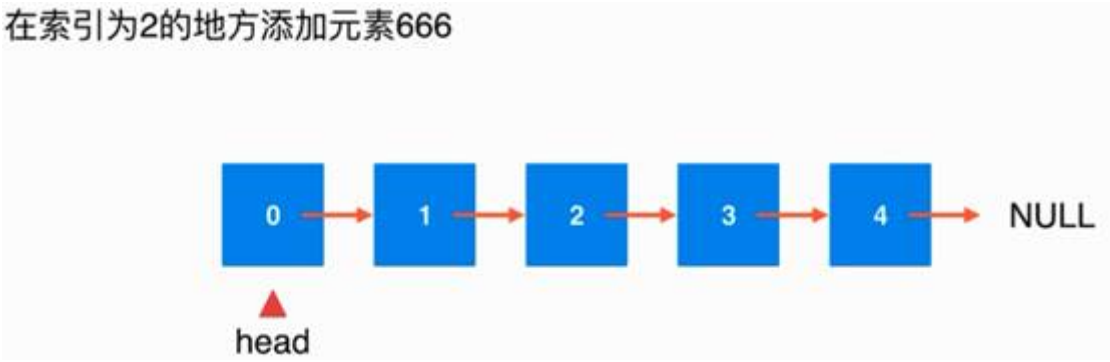


将head指向node

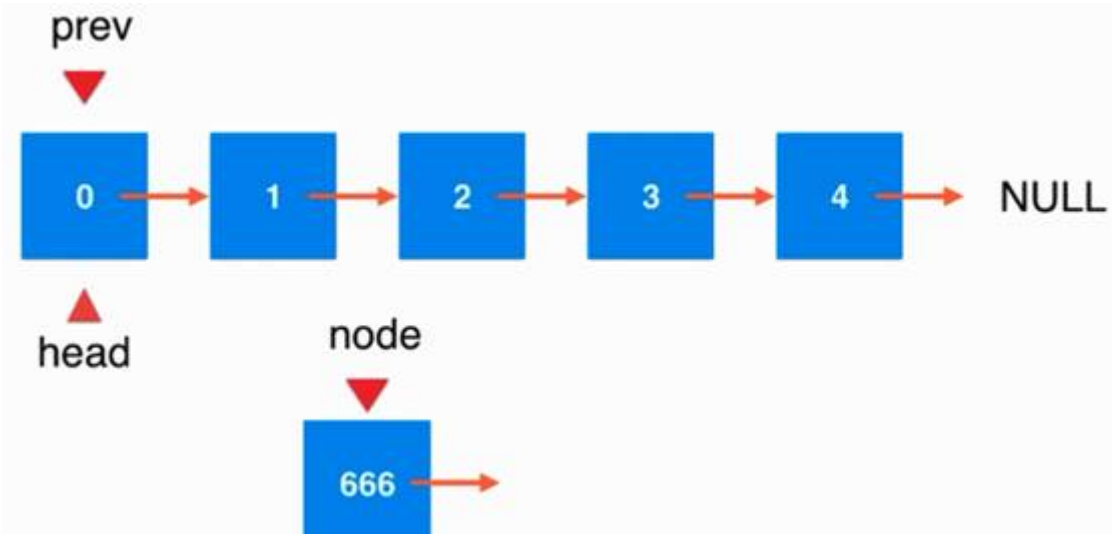


于是node就成为了该链表的head，进入链表中后，成为了链表的一部分

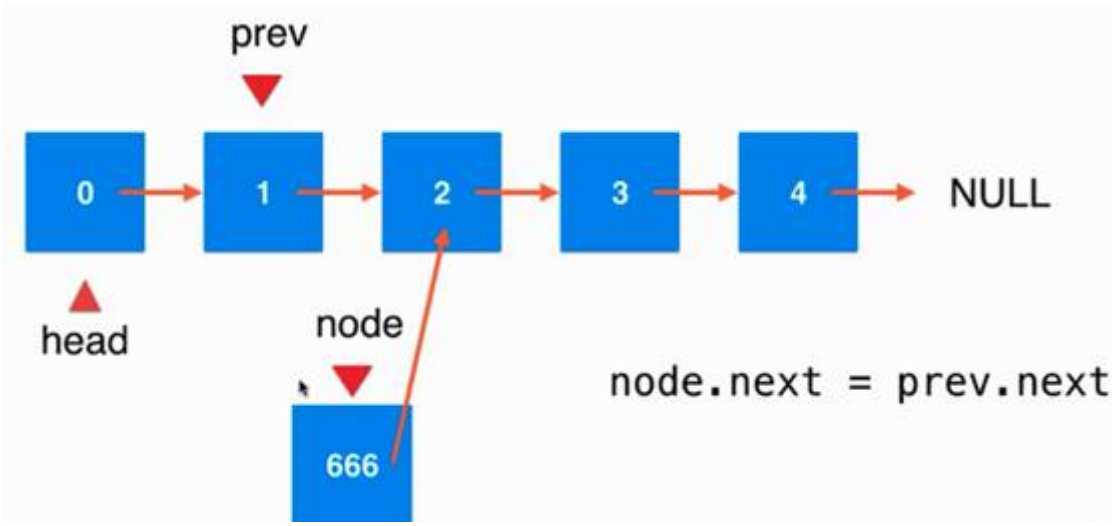
在链表指定索引处添加节点



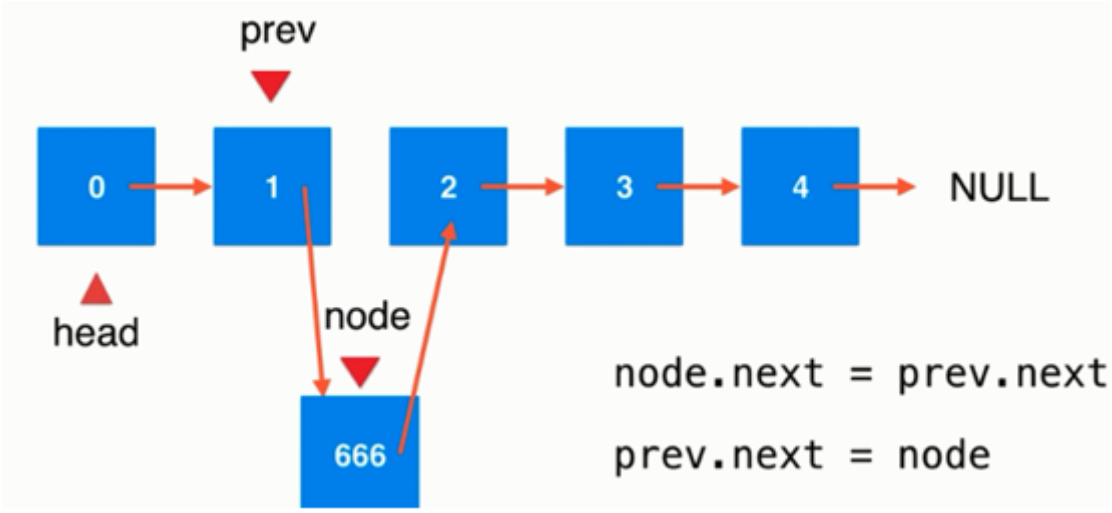
Head节点处有一个prev节点指标



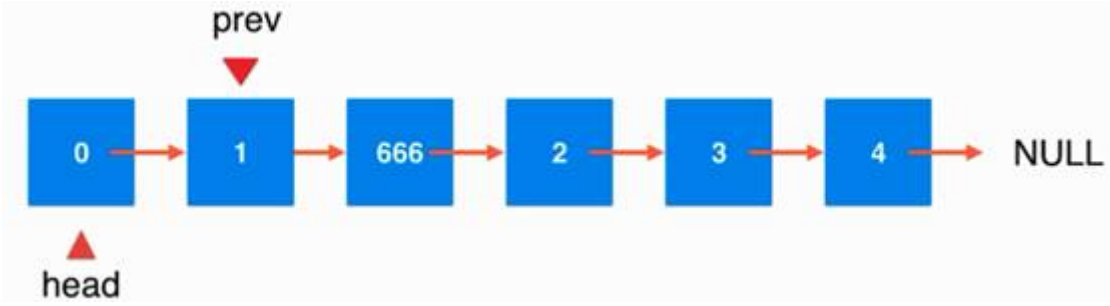
把这个prev插入的需要插入的节点:前一个节点



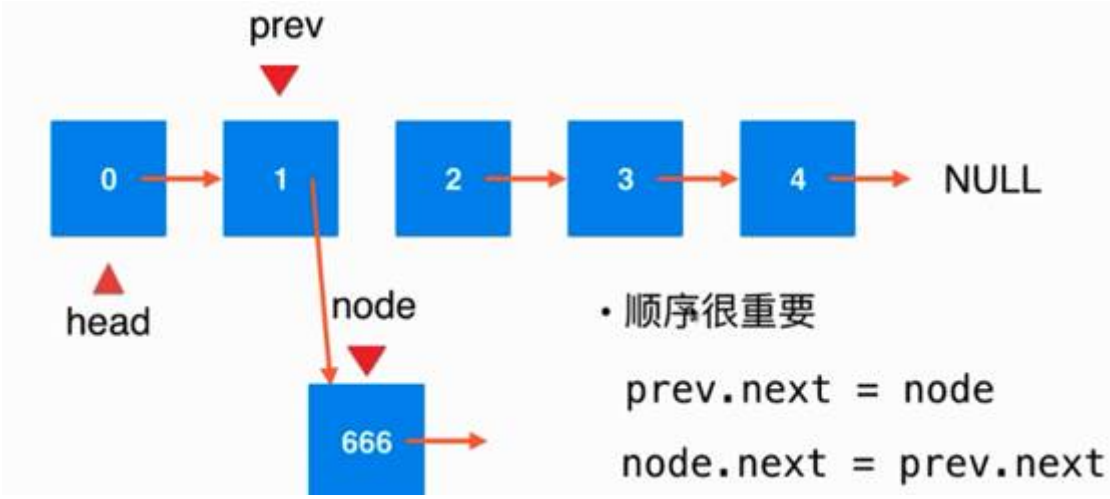
插入过程中关系的转换体现



插入成功后的链表样式



思考一下，执行插入的时候顺序能否发生变化

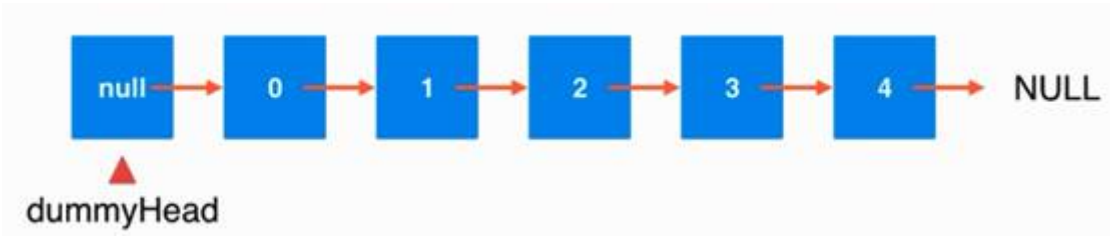


代码实现：

```java
public class LinkedList<E> {

    private class Node{
        public E e;
        public Node next;

        public Node(E e, Node next){
            this.e = e;
            this.next = next;
        }

        public Node(E e){
            this(e, null);
        }

        public Node(){
            this(null, null);
        }

        @Override
        public String toString(){
            return e.toString();
        }
    }

    private Node head;
    private int size;

    public LinkedList(){
        head = null;
```

```
        size = 0;
    }

    // 获取链表中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }

    // 返回链表是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在链表头添加新的元素e
    public void addFirst(E e){
//        Node node = new Node(e);
//        node.next = head;
//        head = node;

        head = new Node(e, head);
        size ++;
    }

    // 在链表的index(0-based)位置添加新的元素e
    // 在链表中不是一个常用的操作，练习用：）
    public void add(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size)
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Illegal
index.");

        if(index == 0)
            addFirst(e);
        else{
            Node prev = head;
            for(int i = 0 ; i < index - 1 ; i ++)
                prev = prev.next;

//            Node node = new Node(e);
//            node.next = prev.next;
//            prev.next = node;

            prev.next = new Node(e, prev.next);
            size ++;
        }
    }
    // 在链表末尾添加新的元素e
    public void addLast(E e){
        add(size, e);
    }
}

```

给链表使用虚拟头结点



为链表添加一个虚拟的空的节点，注意，这个头结点是根本不存在的，是虚拟的，只是为了逻辑方便实现，添加的一个虚拟空的元素，否则就会对处理头结点有不同的逻辑，可以类别循环队列

```
public class LinkedList<E> {

    private class Node{
        public E e;
        public Node next;

        public Node(E e, Node next){
            this.e = e;
            this.next = next;
        }

        public Node(E e){
            this(e, null);
        }

        public Node(){
            this(null, null);
        }

        @Override
        public String toString(){
            return e.toString();
        }
    }

    private Node dummyHead;
    private int size;

    public LinkedList(){
        dummyHead = new Node();
        size = 0;
    }

    // 获取链表中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }

    // 返回链表是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在链表的index(0-based)位置添加新的元素e
    // 在链表中不是一个常用的操作，练习用：）
```

```
    public void add(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size){
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Illegal
index.");
}
        Node prev = dummyHead;
        for(int i = 0 ; i < index ; i ++){
            prev = prev.next;
}
        prev.next = new Node(e, prev.next);
        size ++;
    }

    // 在链表头添加新的元素e
    public void addFirst(E e){
        add(0, e);
    }

    // 在链表末尾添加新的元素e
    public void addLast(E e){
        add(size, e);
    }
}

```

链表的遍历，查询和修改

对于链表来说，查询并非是一个常用操作，目前用于练习使用

Linkedlist

```
public class LinkedList<E> {

    private class Node{
        public E e;
        public Node next;

        public Node(E e, Node next){
            this.e = e;
            this.next = next;
        }

        public Node(E e){
            this(e, null);
        }

        public Node(){
            this(null, null);
        }

        @Override
        public String toString(){
            return e.toString();
        }
    }

```

```
    private Node dummyHead;
    private int size;

    public LinkedList(){
        dummyHead = new Node();
        size = 0;
    }

    // 获取链表中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }

    // 返回链表是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在链表的index(0-based)位置添加新的元素e
    // 在链表中不是一个常用的操作，练习用：）
    public void add(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size){
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Illegal index.");
}
        Node prev = dummyHead;
        for(int i = 0 ; i < index ; i ++){
            prev = prev.next;
}
        prev.next = new Node(e, prev.next);
        size ++;
    }

    // 在链表头添加新的元素e
    public void addFirst(E e){
        add(0, e);
    }

    // 在链表末尾添加新的元素e
    public void addLast(E e){
        add(size, e);
    }

    // 获得链表的第index(0-based)个位置的元素
    // 在链表中不是一个常用的操作，练习用：）
    public E get(int index){

        if(index < 0 || index >= size){
            throw new IllegalArgumentException("Get failed. Illegal index.");
}
        Node cur = dummyHead.next;
        for(int i = 0 ; i < index ; i ++)
            cur = cur.next;
        return cur.e;
    }

```

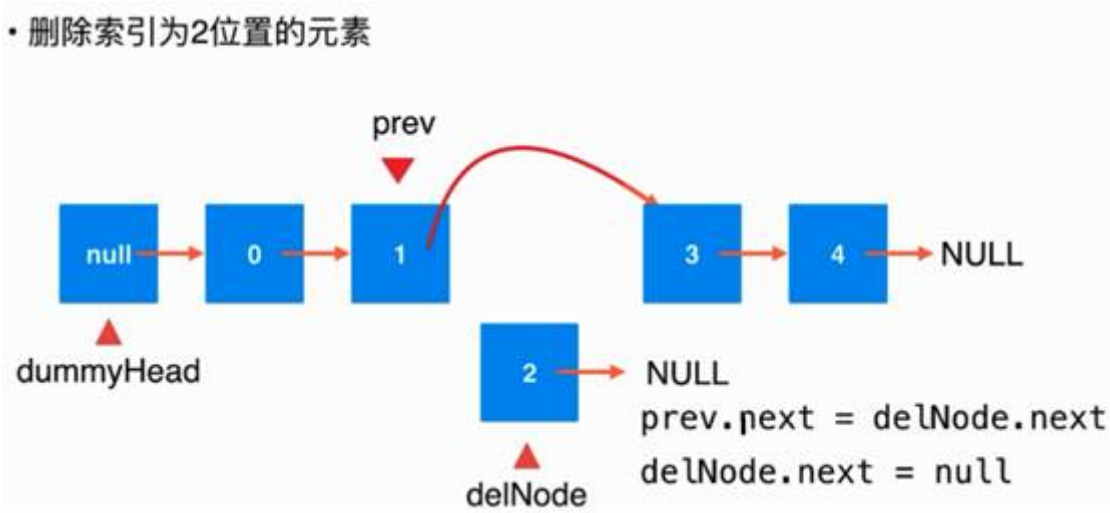
```
    // 获得链表的第一个元素
    public E getFirst(){
        return get(0);
    }

    // 获得链表的最后一个元素
    public E getLast(){
        return get(size - 1);
    }

    // 修改链表的第index(0-based)个位置的元素为e
    // 在链表中不是一个常用的操作，练习用：）
    public void set(int index, E e){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Set failed. Illegal
index.");

        Node cur = dummyHead.next;
        for(int i = 0 ; i < index ; i ++)
            cur = cur.next;
        cur.e = e;
    }

    // 查找链表中是否有元素e
    public boolean contains(E e){
        Node cur = dummyHead.next;
        while(cur != null){
            if(cur.e.equals(e))
                return true;
            cur = cur.next;
        }
        return false;
    }

    @Override
    public String toString(){
        StringBuilder res = new StringBuilder();

//        Node cur = dummyHead.next;
//        while(cur != null){
//            res.append(cur + "->");
//            cur = cur.next;
//        }
        for(Node cur = dummyHead.next ; cur != null ; cur = cur.next)
            res.append(cur + "->");
        res.append("NULL");

        return res.toString();
    }
}

```

Main

```
public class Main {

    public static void main(String[] args) {
```

```
        LinkedList<Integer> linkedList = new LinkedList<>();
        for(int i = 0 ; i < 5 ; i ++){
            linkedList.addFirst(i);
            System.out.println(linkedList);
        }

        linkedList.add(2, 666);
        System.out.println(linkedList);
    }
}

```

从链表中删除元素




```
// 从链表中删除index(0-based)位置的元素, 返回删除的元素
    // 在链表中不是一个常用的操作, 练习用: )
    public E remove(int index){
        if(index < 0 || index >= size)
            throw new IllegalArgumentException("Remove failed. Index is illegal.");

        Node prev = dummyHead;
        for(int i = 0 ; i < index ; i ++)
            prev = prev.next;

        Node retNode = prev.next;
        prev.next = retNode.next;
        retNode.next = null;
        size --;

        return retNode.e;
    }

    // 从链表中删除第一个元素, 返回删除的元素
    public E removeFirst(){
        return remove(0);
    }

    // 从链表中删除最后一个元素, 返回删除的元素
```

```java
    public E removeLast(){
        return remove(size - 1);
    }

    // 从链表中删除元素e
    public void removeElement(E e){

        Node prev = dummyHead;
        while(prev.next != null){
            if(prev.next.e.equals(e))
                break;
            prev = prev.next;
        }

        if(prev.next != null){
            Node delNode = prev.next;
            prev.next = delNode.next;
            delNode.next = null;
            size --;
        }
    }

```

时间复杂度计算

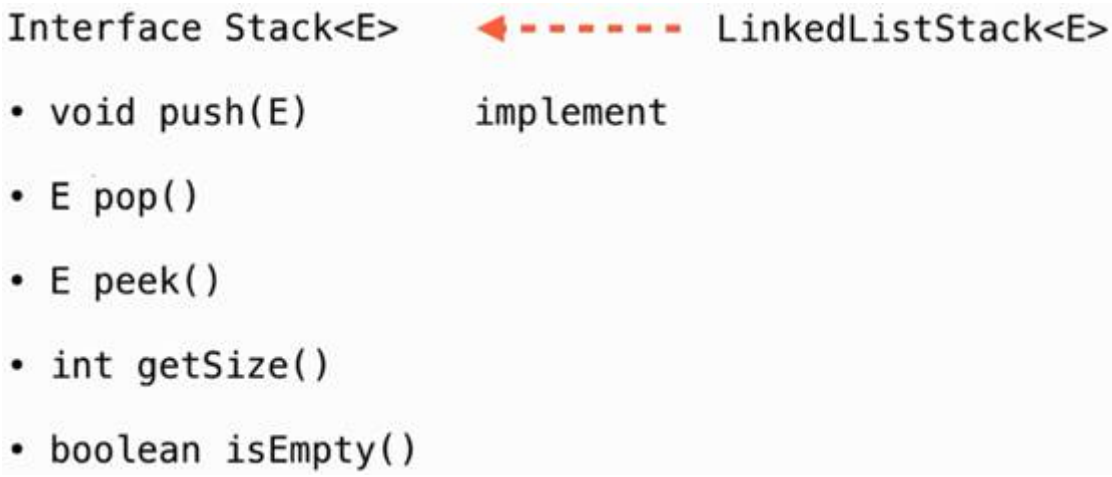
添加操作	O(n)
addLast(e)	O(n)
addFirst(e)	O(1)
add(index, e)	O(n/2) = O(n)

删除操作	O(n)
removeLast(e)	O(n)
removeFirst(e)	O(1)
remove(index, e)	O(n/2) = O(n)

查找操作	O(n)
get(index)	O(n)
contains(e)	O(n)
find(e)	O(n)

总结

使用链表实现栈



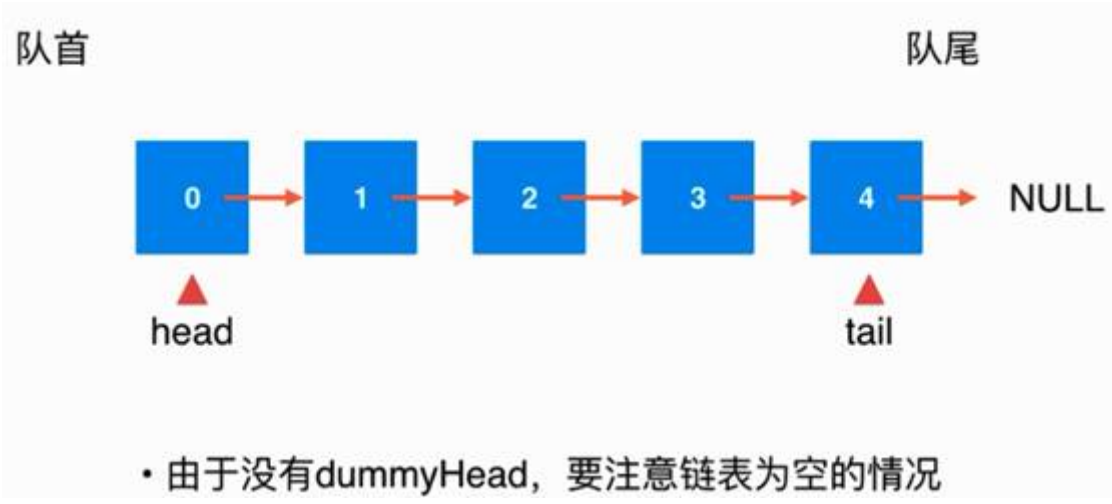
Stack

```
1
```

Main

```
1
```

使用链表实现队列结构




```
1 public class LinkedListQueue<E> implements Queue<E> {
2
```

```
    private class Node{
        public E e;
        public Node next;

        public Node(E e, Node next){
            this.e = e;
            this.next = next;
        }

        public Node(E e){
            this(e, null);
        }

        public Node(){
            this(null, null);
        }

        @Override
        public String toString(){
            return e.toString();
        }
    }

    private Node head, tail;
    private int size;

    public LinkedListQueue(){
        head = null;
        tail = null;
        size = 0;
    }

    @Override
    public int getSize(){
        return size;
    }

    @Override
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    @Override
    public void enqueue(E e){
        if(tail == null){
            tail = new Node(e);
            head = tail;
        }
        else{
            tail.next = new Node(e);
            tail = tail.next;
        }
        size ++;
    }

    @Override
    public E dequeue(){
        if(isEmpty())
```

```
            throw new IllegalArgumentException("Cannot dequeue from an empty queue.");

        Node retNode = head;
        head = head.next;
        retNode.next = null;
                //判断一下整个队列为空的情况
        if(head == null)
            tail = null;
        size --;
        return retNode.e;
    }

    @Override
    public E getFront(){
        if(isEmpty())
            throw new IllegalArgumentException("Queue is empty.");
        return head.e;
    }

    @Override
    public String toString(){
        StringBuilder res = new StringBuilder();
        res.append("Queue: front ");

        Node cur = head;
        while(cur != null) {
            res.append(cur + "->");
            cur = cur.next;
        }
        res.append("NULL tail");
        return res.toString();
    }

    public static void main(String[] args){

        LinkedListQueue<Integer> queue = new LinkedListQueue<>();
        for(int i = 0 ; i < 10 ; i ++){
            queue.enqueue(i);
            System.out.println(queue);

            if(i % 3 == 2){
                queue.dequeue();
                System.out.println(queue);
            }
        }
    }
}

```

```
package com.mylinkedlist;

public class LinkedList2<E> {

    private class Node{
```

```
        public E e;
        public Node next;

        public Node(E e, Node next){
            this.e = e;
            this.next = next;
        }

        public Node(E e){
            this(e, null);
        }

        public Node(){
            this(null, null);
        }


        @Override
        public String toString() {
//          return e.toString();
            return "Node [e=" + e + ", next=" + next + "]";
        }


    }

    private Node dummyHead;
    private int size;

    public LinkedList2(){
        dummyHead = new Node();
        size = 0;
    }

    // 获取链表中的元素个数
    public int getSize(){
        return size;
    }

    // 返回链表是否为空
    public boolean isEmpty(){
        return size == 0;
    }

    // 在链表的index(0-based)位置添加新的元素e
    // 在链表中不是一个常用的操作，练习用：）
    public void insert(int index, E e){

        if(index < 0 || index > size) {
            throw new IllegalArgumentException("Add failed. Illegal
index.");
        }
        Node prev = dummyHead;
        for(int i = 0 ; i < index ; i ++) {
            prev = prev.next;
        }
        prev.next = new Node(e, prev.next);
        size ++;
```

```java
    }

    // 在链表头添加新的元素e
    public void addHead(E e){
        insert(0, e);
    }

    // 在链表末尾添加新的元素e
    public void addLast(E e){
        insert(size, e);
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "LinkedList2 [dummyHead=" + dummyHead + ", size=" + size + "]";
    }

}
```