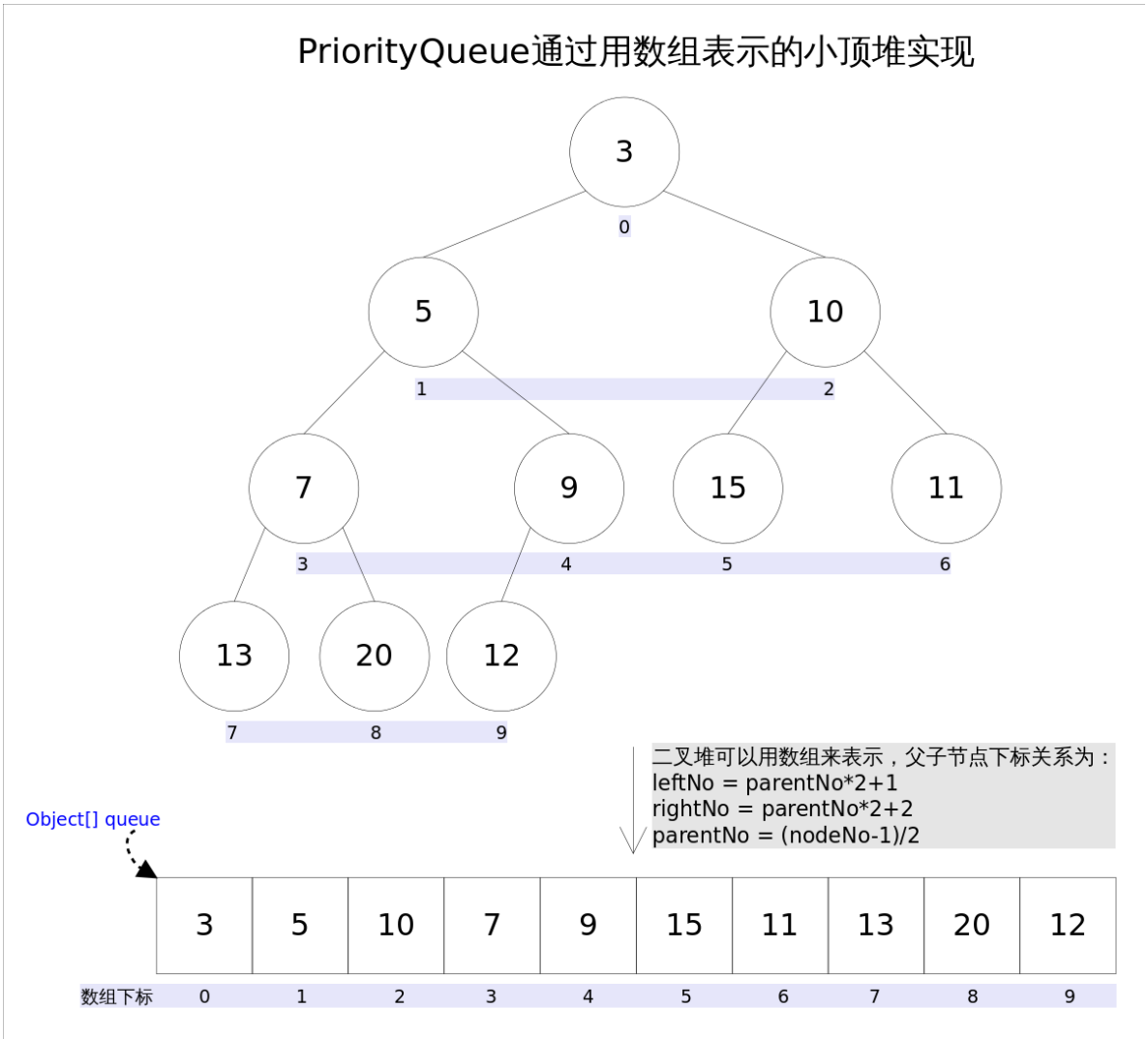
PriorityQueue

总体介绍

前面以Java *ArrayDeque*为例讲解了*Stack*和*Queue*，其实还有一种特殊的队列叫做*PriorityQueue*，即优先队列。**优先队列的作用是能保证每次取出的元素都是队列中权值最小的**（Java的优先队列每次取最小元素，C++的优先队列每次取最大元素）。这里牵涉到了大小关系，**元素大小的评判可以通过元素本身的自然顺序（*natural ordering*），也可以通过构造时传入的比较器**（*Comparator*，类似于C++的仿函数）。

Java中*PriorityQueue*实现了*Queue*接口，不允许放入`null`元素；其通过堆实现，具体说是通过完全二叉树（*complete binary tree*）实现的**小顶堆**（任意一个非叶子节点的权值，都不大于其左右子节点的权值），也就意味着可以通过数组来作为*PriorityQueue*的底层实现。



上图中我们给每个元素按照层序遍历的方式进行了编号，如果你足够细心，会发现父节点和子节点的编号是有联系的，更确切的说父子节点的编号之间有如下关系：

`leftNo = parentNo*2+1`

`rightNo = parentNo*2+2`

`parentNo = (nodeNo-1)/2`

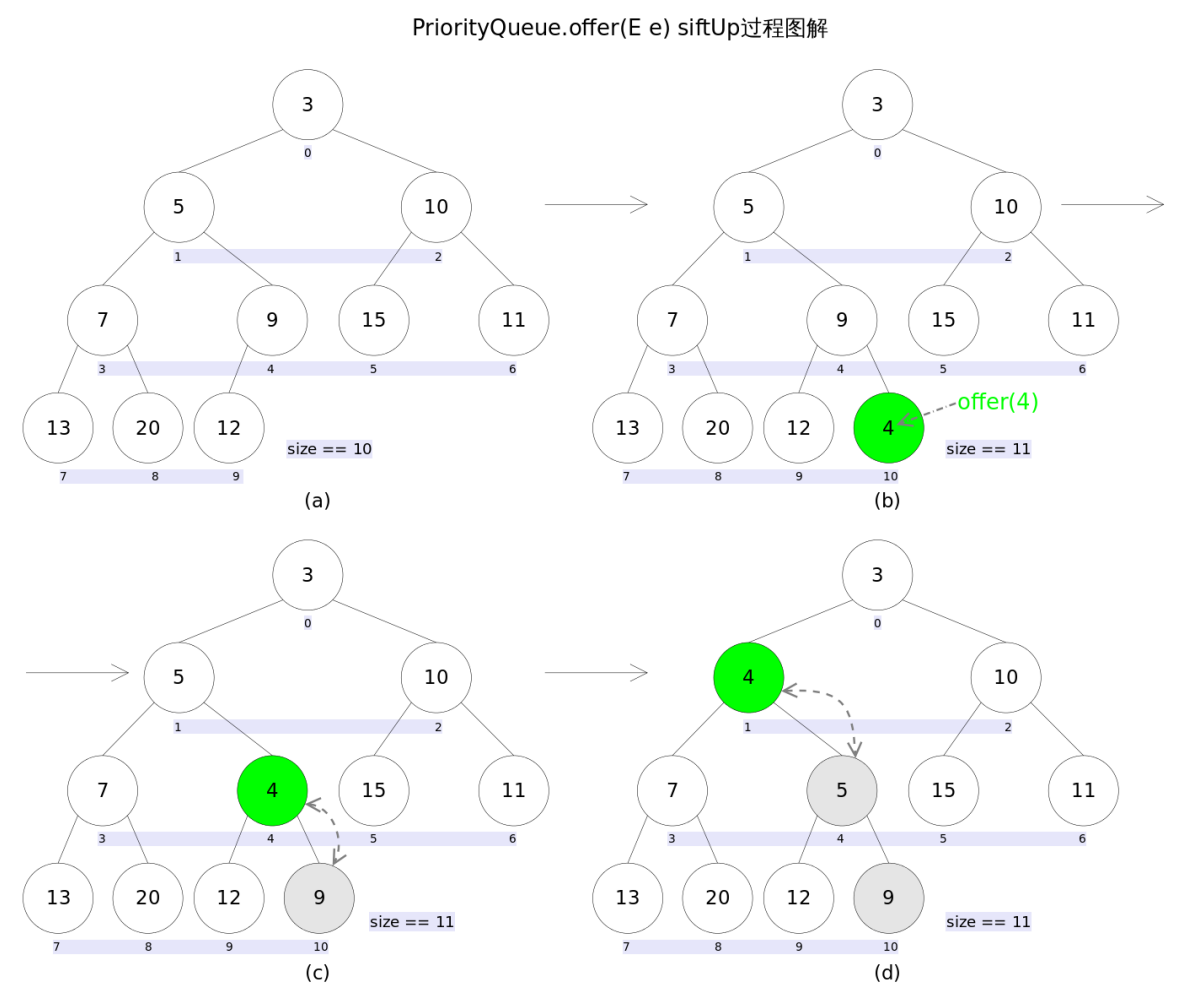
通过上述三个公式，可以轻易计算出某个节点的父节点以及子节点的下标。这也就是为什么可以直接用数组来存储堆的原因。

*PriorityQueue*的`peek()`和`element`操作是常数时间，`add()`, `offer()`, 无参数的`remove()`以及`poll()`方法的时间复杂度都是*log(N)*。

方法剖析

add()和offer()

`add(E e)`和`offer(E e)`的语义相同，都是向优先队列中插入元素，只是`Queue`接口规定二者对插入失败时的处理不同，前者在插入失败时抛出异常，后则则会返回`false`。对于*PriorityQueue*这两个方法其实没什么差别。



新加入的元素可能会破坏小顶堆的性质，因此需要进行必要的调整。

```
//offer(E e)
public boolean offer(E e) {
    if (e == null)//不允许放入null元素
        throw new NullPointerException();
    modCount++;
    int i = size;
    if (i >= queue.length)
        grow(i + 1);//自动扩容
    size = i + 1;
    if (i == 0)//队列原来为空，这是插入的第一个元素
        queue[0] = e;
```

```
    else
        siftUp(i, e);//调整
    return true;
}
```

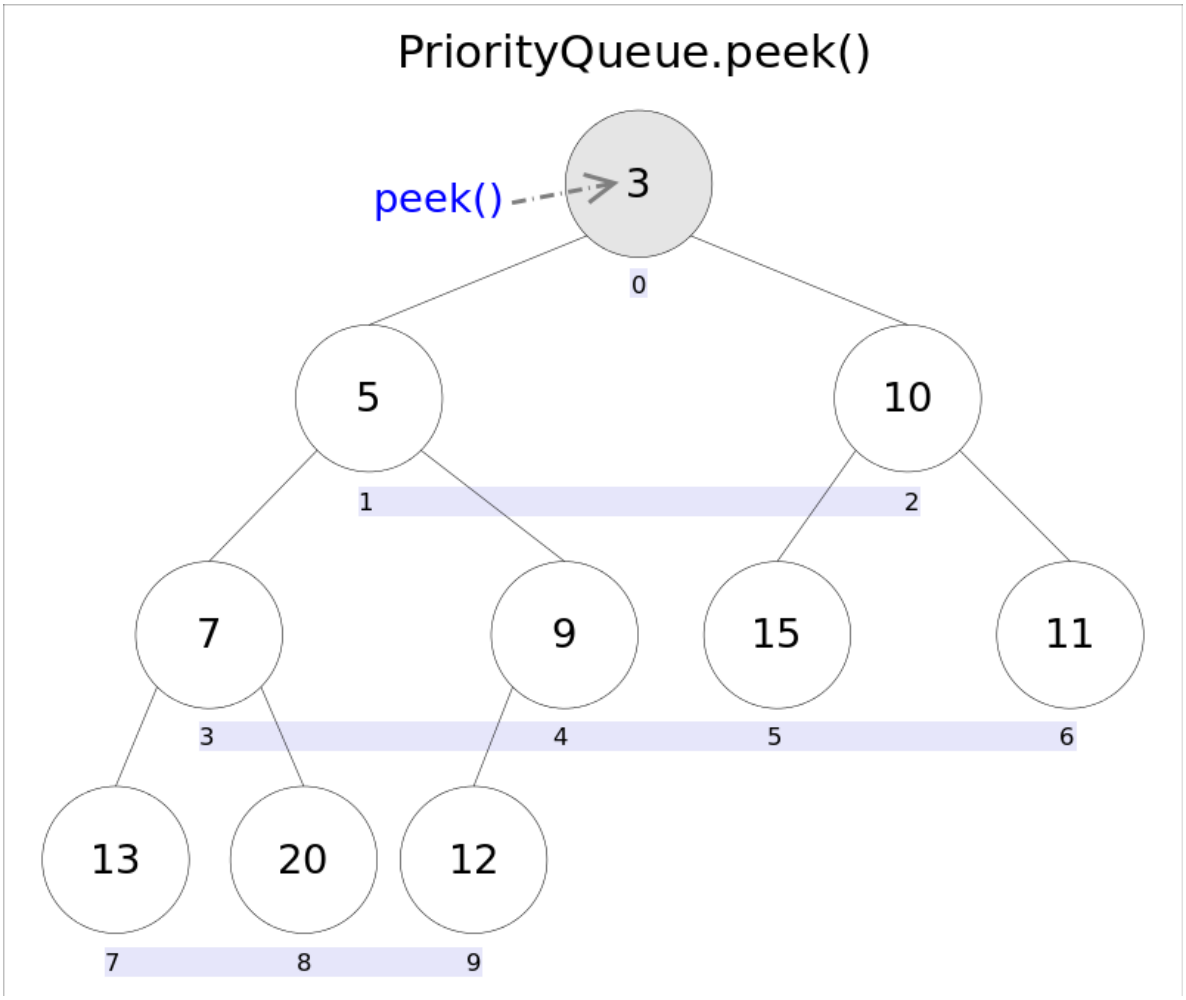
上述代码中，扩容函数`grow()`类似于`ArrayList`里的`grow()`函数，就是再申请一个更大的数组，并将原数组的元素复制过去，这里不再赘述。需要注意的是`siftUp(int k, E x)`方法，该方法用于插入元素`x`并维持堆的特性。

```
//siftUp()
private void siftUp(int k, E x) {
    while (k > 0) {
        int parent = (k - 1) >>> 1;//parentNo = (nodeNo-1)/2
        Object e = queue[parent];
        if (comparator.compare(x, (E) e) >= 0)//调用比较器的比较方法
            break;
        queue[k] = e;
        k = parent;
    }
    queue[k] = x;
}
```

新加入的元素`x`可能会破坏小顶堆的性质，因此需要进行调整。调整的过程为：从`k`指定的位置开始，将`x`逐层与当前点的`parent`进行比较并交换，直到满足`x >= queue[parent]`为止。注意这里的比较可以是元素的自然顺序，也可以是依靠比较器的顺序。

element()和peek()

`element()`和`peek()`的语义完全相同，都是获取但不删除队首元素，也就是队列中权值最小的那个元素，二者唯一的区别是当方法失败时前者抛出异常，后者返回`null`。根据小顶堆的性质，堆顶那个元素就是全局最小的那个；由于堆用数组表示，根据下标关系，`0`下标处的那个元素既是堆顶元素。所以直接返回数组`0`下标处的那个元素即可。

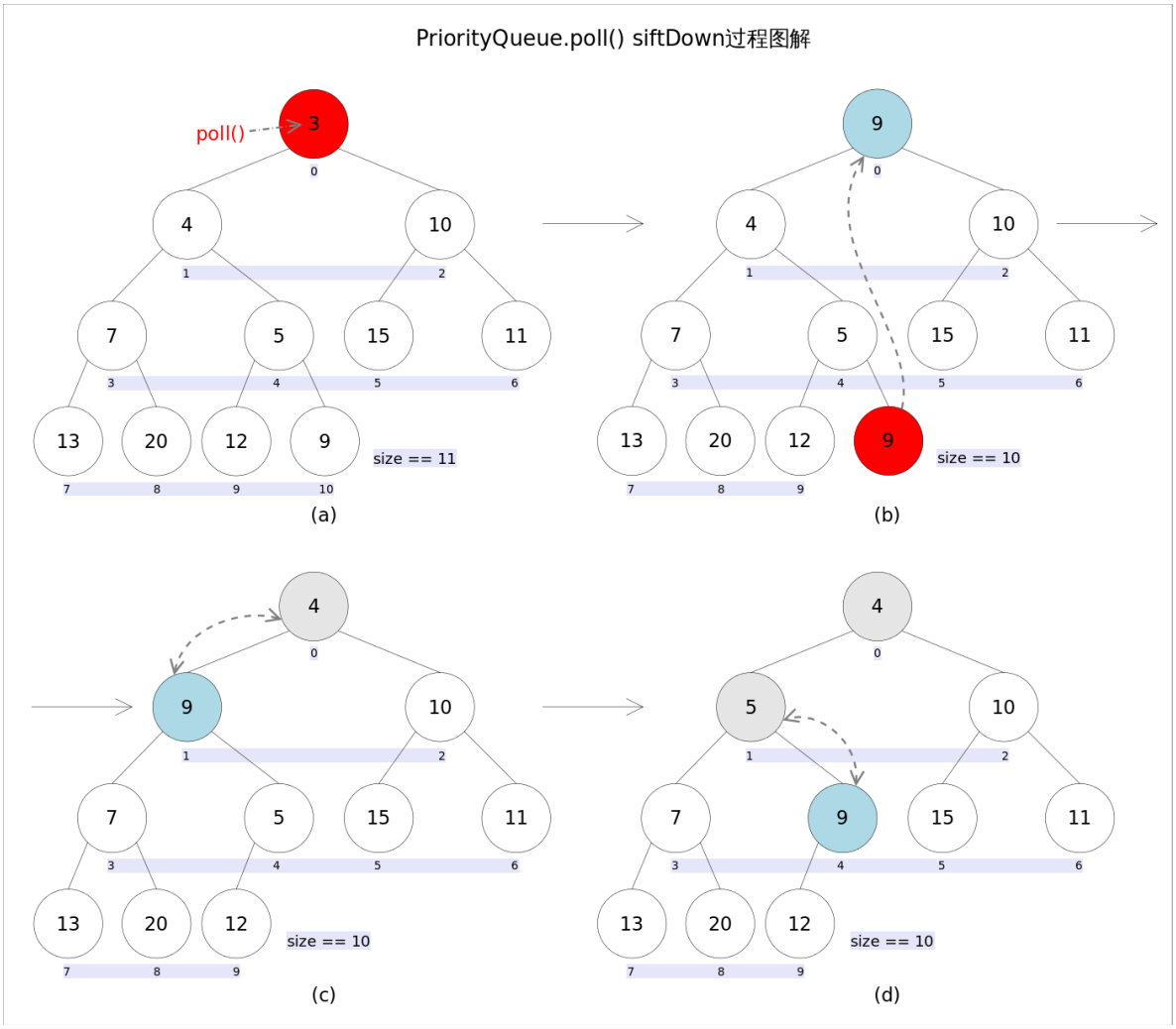


代码也就非常简洁：

```
//peek()
public E peek() {
    if (size == 0)
        return null;
    return (E) queue[0];//0下标处的那个元素就是最小的那个
}
```

remove()和poll()

`remove()`和`poll()`方法的语义也完全相同，都是获取并删除队首元素，区别是当方法失败时前者抛出异常，后者返回`null`。由于删除操作会改变队列的结构，为维护小顶堆的性质，需要进行必要的调整。



代码如下：

```
public E poll() {
    if (size == 0)
        return null;
    int s = --size;
    modCount++;
    E result = (E) queue[0];//0下标处的那个元素就是最小的那个
    E x = (E) queue[s];
    queue[s] = null;
    if (s != 0)
        siftDown(0, x);//调整
    return result;
}
```

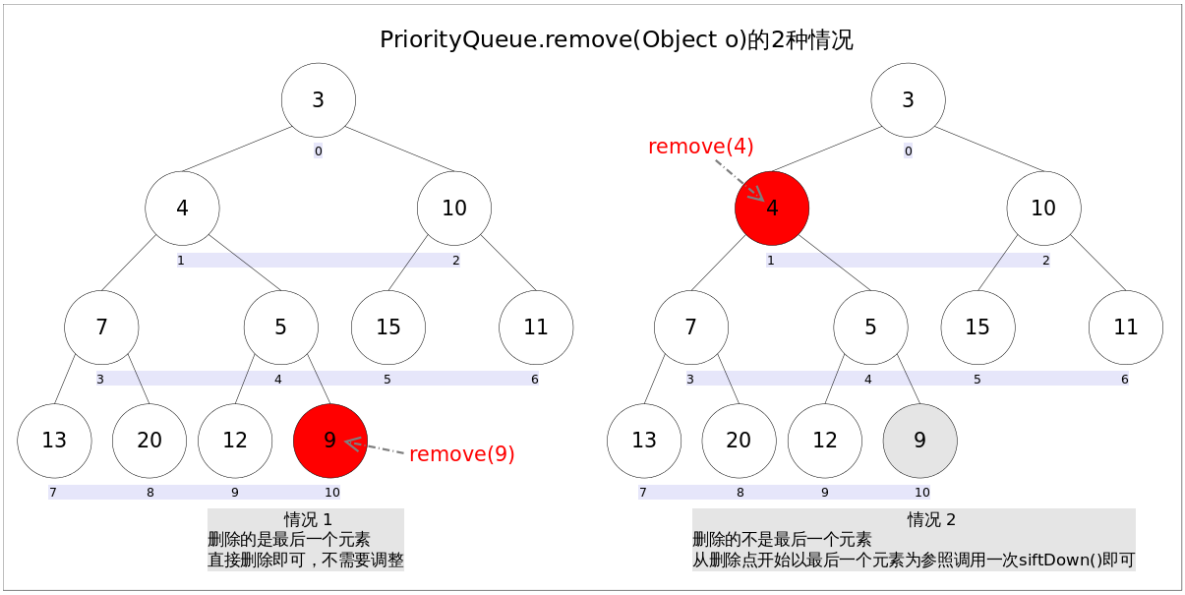
上述代码首先记录`0`下标处的元素，并用最后一个元素替换`0`下标位置的元素，之后调用`siftDown()`方法对堆进行调整，最后返回原来`0`下标处的那个元素（也就是最小的那个元素）。重点是`siftDown(int k, E x)`方法，该方法的作用是从`k`指定的位置开始，将`x`逐层向下与当前点的左右孩子中较小的那个交换，直到`x`小于或等于左右孩子中的任何一个为止。

```
//siftDown()
private void siftDown(int k, E x) {
    int half = size >>> 1;
    while (k < half) {
        //首先找到左右孩子中较小的那个，记录到c里，并用child记录其下标
        int child = (k << 1) + 1;//leftNo = parentNo*2+1
        Object c = queue[child];
```

```
            int right = child + 1;
            if (right < size &&
                comparator.compare((E) c, (E) queue[right]) > 0)
                c = queue[child = right];
            if (comparator.compare(x, (E) c) <= 0)
                break;
            queue[k] = c;//然后用c取代原来的值
            k = child;
        }
        queue[k] = x;
    }
```

remove(Object o)

`remove(Object o)`方法用于删除队列中跟`o`相等的某一个元素（如果有多个相等，只删除一个），该方法不是*Queue*接口内的方法，而是*Collection*接口的方法。由于删除操作会改变队列结构，所以要进行调整；又由于删除元素的位置可能是任意的，所以调整过程比其它函数稍加繁琐。具体来说，`remove(Object o)`可以分为2种情况：1. 删除的是最后一个元素。直接删除即可，不需要调整。2. 删除的不是最后一个元素，从删除点开始以最后一个元素为参照调用一次`siftDown()`即可。此处不再赘述。



具体代码如下：

```
//remove(Object o)
public boolean remove(Object o) {
    //通过遍历数组的方式找到第一个满足o.equals(queue[i])元素的下标
    int i = indexOf(o);
    if (i == -1)
        return false;
    int s = --size;
    if (s == i) //情况1
        queue[i] = null;
    else {
        E moved = (E) queue[s];
        queue[s] = null;
        siftDown(i, moved);//情况2
        ......
    }
    return true;
```

```
}
```