

67 | 迭代器模式（下）：如何设计实现一个支持“快照”功能的iterator?

王争 · 设计模式之美



上两节课，我们学习了迭代器模式的原理、实现，并且分析了在遍历集合的同时增删集合元素，产生不可预期结果的原因以及应对策略。

今天，我们再来看这样一个问题：如何实现一个支持“快照”功能的迭代器？这个问题算是对上一节课内容的延伸思考，为的是帮你加深对迭代器模式的理解，也是对你分析、解决问题的一种锻炼。你可以把它当作一个面试题或者练习题，在看我的讲解之前，先试一试自己能否顺利回答上来。

话不多说，让我们正式开始今天的学习吧！

问题描述

我们先来介绍一下问题的背景：如何实现一个支持“快照”功能的迭代器模式？


理解这个问题最关键的是理解“快照”两个字。所谓“快照”，指我们为容器创建迭代器的时候，相当于给容器拍了一张快照（Snapshot）。之后即便我们增删容器中的元素，快照中的元素并不会做相应的改动。而迭代器遍历的对象是快照而非容器，这样就避免了在使用迭代器遍历的过程中，增删容器中的元素，导致的不可预期的结果或者报错。

接下来，我举一个例子来解释一下上面这段话。具体的代码如下所示。容器 list 中初始存储了 3、8、2 三个元素。尽管在创建迭代器 iter1 之后，容器 list 删除了元素 3，只剩下 8、2 两个元素，但是，通过 iter1 遍历的对象是快照，而非容器 list 本身。所以，遍历的结果仍然是 3、8、2。同理，iter2、iter3 也是在各自的快照上遍历，输出的结果如代码中注释所示。

 复制代码

```
1 List<Integer> list = new ArrayList<>();
2 list.add(3);
3 list.add(8);
4 list.add(2);
5
6 Iterator<Integer> iter1 = list.iterator();//snapshot: 3, 8, 2
7 list.remove(new Integer(2));//list: 3, 8
8 Iterator<Integer> iter2 = list.iterator();//snapshot: 3, 8
9 list.remove(new Integer(3));//list: 8
10 Iterator<Integer> iter3 = list.iterator();//snapshot: 3
11
12 // 输出结果: 3 8 2
13 while (iter1.hasNext()) {
14     System.out.print(iter1.next() + " ");
15 }
16 System.out.println();
17
18 // 输出结果: 3 8
19 while (iter2.hasNext()) {
20     System.out.print(iter1.next() + " ");
21 }
22 System.out.println();
23
24 // 输出结果: 8
25 while (iter3.hasNext()) {
26     System.out.print(iter1.next() + " ");
27 }
28 System.out.println();
```

如果由你来实现上面的功能，你会如何来做呢？下面是针对这个功能需求的骨架代码，其中包含 `ArrayList`、`SnapshotArrayIterator` 两个类。对于这两个类，我只定义了必须的几个关键接口，完整的代码实现我并没有给出。你可以试着去完善一下，然后再看我下面的讲解。


 复制代码

```
1 public ArrayList<E> implements List<E> {
2     // TODO: 成员变量、私有函数等随便你定义
3
4     @Override
5     public void add(E obj) {
6         //TODO: 由你来完善
7     }
8
9     @Override
10    public void remove(E obj) {
11        // TODO: 由你来完善
12    }
13
14    @Override
15    public Iterator<E> iterator() {
16        return new SnapshotArrayIterator(this);
17    }
18 }
19
20 public class SnapshotArrayIterator<E> implements Iterator<E> {
21     // TODO: 成员变量、私有函数等随便你定义
22
23     @Override
24     public boolean hasNext() {
25         // TODO: 由你来完善
26     }
27
28     @Override
29     public E next() { //返回当前元素，并且游标后移一位
30         // TODO: 由你来完善
31     }
32 }
```

解决方案一

我们先来看最简单的一种解决办法。在迭代器类中定义一个成员变量 `snapshot` 来存储快照。每当创建迭代器的时候，都拷贝一份容器中的元素到快照中，后续的遍历操作都基于这个迭代

器自己持有的快照来进行。具体的代码实现如下所示：

 复制代码

```
1 public class SnapshotArrayIterator<E> implements Iterator<E> {
2     private int cursor;
3     private ArrayList<E> snapshot;
4
5     public SnapshotArrayIterator(ArrayList<E> arrayList) {
6         this.cursor = 0;
7         this.snapshot = new ArrayList<>();
8         this.snapshot.addAll(arrayList);
9     }
10
11     @Override
12     public boolean hasNext() {
13         return cursor < snapshot.size();
14     }
15
16     @Override
17     public E next() {
18         E currentItem = snapshot.get(cursor);
19         cursor++;
20         return currentItem;
21     }
22 }
```

这个解决方案虽然简单，但代价也有点高。每次创建迭代器的时候，都要拷贝一份数据到快照中，会增加内存的消耗。如果一个容器同时有多个迭代器在遍历元素，就会导致数据在内存中重复存储多份。不过，庆幸的是，Java 中的拷贝属于浅拷贝，也就是说，容器中的对象并非真的拷贝了多份，而只是拷贝了对象的引用而已。关于深拷贝、浅拷贝，我们在 [🔗第 47 讲](#) 中有详细的讲解，你可以回过头去再看一下。

那有没有什么方法，既可以支持快照，又不需要拷贝容器呢？

解决方案二

我们再来看第二种解决方案。


我们可以在容器中，为每个元素保存两个时间戳，一个是添加时间戳 `addTimestamp`，一个是删除时间戳 `delTimestamp`。当元素被加入到集合中的时候，我们将 `addTimestamp` 设置为当前时间，将 `delTimestamp` 设置成最大长整型值 (`Long.MAX_VALUE`)。当元素被删除时，我们将 `delTimestamp` 更新为当前时间，表示已经被删除。

注意，这里只是标记删除，而非真正将它从容器中删除。

同时，每个迭代器也保存一个迭代器创建时间戳 `snapshotTimestamp`，也就是迭代器对应的快照的创建时间戳。当使用迭代器来遍历容器的时候，只有满足 `addTimestamp < snapshotTimestamp < delTimestamp` 的元素，才是属于这个迭代器的快照。

如果元素的 `addTimestamp > snapshotTimestamp`，说明元素在创建了迭代器之后才加入的，不属于这个迭代器的快照；如果元素的 `delTimestamp < snapshotTimestamp`，说明元素在创建迭代器之前就被删除掉了，也不属于这个迭代器的快照。

这样就在不拷贝容器的情况下，在容器本身上借助时间戳实现了快照功能。具体的代码实现如下所示。注意，我们没有考虑 `ArrayList` 的扩容问题，感兴趣的话，你可以自己完善一下。

 复制代码

```
1 public class ArrayList<E> implements List<E> {
2     private static final int DEFAULT_CAPACITY = 10;
3
4     private int actualSize; //不包含标记删除元素
5     private int totalSize; //包含标记删除元素
6
7     private Object[] elements;
8     private long[] addTimestamps;
9     private long[] delTimestamps;
10
11     public ArrayList() {
12         this.elements = new Object[DEFAULT_CAPACITY];
13         this.addTimestamps = new long[DEFAULT_CAPACITY];
14         this.delTimestamps = new long[DEFAULT_CAPACITY];
15         this.totalSize = 0;
16         this.actualSize = 0;
17     }
18
19     @Override
```

```
20     public void add(E obj) {
21         elements[totalSize] = obj;
22         addTimestamps[totalSize] = System.currentTimeMillis();
23         delTimestamps[totalSize] = Long.MAX_VALUE;
24         totalSize++;
25         actualSize++;
26     }
27
28     @Override
29     public void remove(E obj) {
30         for (int i = 0; i < totalSize; ++i) {
31             if (elements[i].equals(obj)) {
32                 delTimestamps[i] = System.currentTimeMillis();
33                 actualSize--;
34             }
35         }
36     }
37
38     public int actualSize() {
39         return this.actualSize;
40     }
41
42     public int totalSize() {
43         return this.totalSize;
44     }
45
46     public E get(int i) {
47         if (i >= totalSize) {
48             throw new IndexOutOfBoundsException();
49         }
50         return (E)elements[i];
51     }
52
53     public long getAddTimestamp(int i) {
54         if (i >= totalSize) {
55             throw new IndexOutOfBoundsException();
56         }
57         return addTimestamps[i];
58     }
59
60     public long getDelTimestamp(int i) {
61         if (i >= totalSize) {
62             throw new IndexOutOfBoundsException();
63         }
64         return delTimestamps[i];
65     }
66 }
67
68 public class SnapshotArrayIterator<E> implements Iterator<E> {
```

```

69     private long snapshotTimestamp;
70     private int cursorInAll; // 在整个容器中的下标，而非快照中的下标
71     private int leftCount; // 快照中还有几个元素未被遍历
72     private ArrayList<E> arrayList;
73
74     public SnapshotArrayIterator(ArrayList<E> arrayList) {
75         this.snapshotTimestamp = System.currentTimeMillis();
76         this.cursorInAll = 0;
77         this.leftCount = arrayList.actualSize();
78         this.arrayList = arrayList;
79
80         justNext(); // 先跳到这个迭代器快照的第一个元素
81     }
82
83     @Override
84     public boolean hasNext() {
85         return this.leftCount >= 0; // 注意是>=，而非>
86     }
87
88     @Override
89     public E next() {
90         E currentItem = arrayList.get(cursorInAll);
91         justNext();
92         return currentItem;
93     }
94
95     private void justNext() {
96         while (cursorInAll < arrayList.totalSize()) {
97             long addTimestamp = arrayList.getAddTimestamp(cursorInAll);
98             long delTimestamp = arrayList.getDelTimestamp(cursorInAll);
99             if (snapshotTimestamp > addTimestamp && snapshotTimestamp < delTimestamp) {
100                 leftCount--;
101                 break;
102             }
103             cursorInAll++;
104         }
105     }
106 }

```

实际上，上面的解决方案相当于解决了一个问题，又引入了另外一个问题。ArrayList 底层依赖数组这种数据结构，原本可以支持快速的随机访问，在 $O(1)$ 时间复杂度内获取下标为 i 的元素，但现在，删除数据并非真正的删除，只是通过时间戳来标记删除，这就导致无法支持按照下标快速随机访问了。如果你对数组随机访问这块知识点不了解，可以去看我的《数据结构与算法之美》专栏，这里我就不展开讲解了。

现在，我们来看怎么解决这个问题：让容器既支持快照遍历，又支持随机访问？

解决的方法也不难，我稍微提示一下。我们可以在 ArrayList 中存储两个数组。一个支持标记删除的，用来实现快照遍历功能；一个不支持标记删除的（也就是将要删除的数据直接从数组中移除），用来支持随机访问。对应的代码我这里就不给出了，感兴趣的话你可以自己实现一下。

重点回顾

好了，今天的内容到此就讲完了。我们一块来总结回顾一下，你需要重点掌握的内容。

今天我们讲了如何实现一个支持“快照”功能的迭代器。其实这个问题本身并不是学习的重点，因为在真实的项目开发中，我们几乎不会遇到这样的需求。所以，基于今天的内容我不想做过多的总结。我想和你说一说，为什么我要来讲今天的内容呢？

实际上，学习本节课的内容，如果你只是从前往后看一遍，看懂就觉得 ok 了，那收获几乎是零。一个好学习方法是，把它当作一个思考题或者面试题，在看我的讲解之前，自己主动思考如何解决，并且把解决方案用代码实现一遍，然后再来看跟我的讲解有哪些区别。这个过程对你分析问题、解决问题的能力锻炼，代码设计能力、编码能力的锻炼，才是最有价值的，才是我们这篇文章的意义所在。所谓“知识是死的，能力才是活的”就是这个道理。

其实，不仅仅是这一节的内容，整个专栏的学习都是这样的。

在《数据结构与算法之美》专栏中，有同学曾经对我说，他看了很多遍我的专栏，几乎看懂了所有的内容，他觉得都掌握了，但是，在最近第一次面试中，面试官给他出了一个结合实际开发的算法题，他还是没有思路，当时脑子一片放空，问我学完这个专栏之后，要想应付算法面试，还要学哪些东西，有没有推荐的书籍。

我看了他的面试题之后发现，用我专栏里讲的知识是完全可以解决的，而且，专栏里已经讲过类似的问题，只是换了个业务背景而已。之所以他没法回答上来，还是没有将知识转化成解决问题的能力，因为他只是被动地“看”，从来没有主动地“思考”。**只掌握了知识，没锻炼能力，遇到实际的问题还是没法自己去分析、思考、解决。**

我给他的建议是，把专栏里的每个开篇问题都当做面试题，自己去思考一下，然后再看解答。这样整个专栏学下来，对能力的锻炼就多了，再遇到算法面试也就不会一点思路都没有了。同理，学习《设计模式之美》这个专栏也应该如此。

课堂讨论

在今天讲的解决方案二中，删除元素只是被标记删除。被删除的元素即便在没有迭代器使用的情况下，也不会从数组中真正移除，这就会导致不必要的内存占用。针对这个问题，你有进一步优化的方法吗？

欢迎留言和我分享你的思考。如果有收获，欢迎你把这篇文章分享给你的朋友。

AI智能总结

本文深入探讨了如何设计实现一个支持“快照”功能的迭代器，解决了在遍历集合的同时增删集合元素可能产生不可预期结果或报错的问题。文章提出了两种解决方案，一种是在迭代器类中定义一个成员变量snapshot来存储快照，另一种是在容器中为每个元素保存添加时间戳和删除时间戳，并在迭代器中使用时间戳来实现快照功能。此外，文章还提出了解决随机访问问题的方法，即在ArrayList中存储两个数组，一个用于标记删除实现快照遍历，另一个用于支持随机访问。整体而言，本文为读者提供了丰富的技术知识和解决问题的思路，强调了通过主动思考和实践来锻炼分析问题、解决问题的能力，以及代码设计能力、编码能力的重要性。

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

全部留言 (73)

最新 精选



万历十五年
2020-11-29

思考题：为迭代器创建虚引用，当迭代器被回收时，清空容器中相应元素。

作者回复: 嗯嗯

共 3 条评论 >

40



桃花河逆流而上
2020-04-26

- 1.代码貌似跑得不对，只有justNext方法自增了cursorInAll，假设第一个元素没有被删除，那么总是cursorInAll总是0；
- 2.时间戳获取有点问题，连续操作获取时间戳很有可能都是一样的，应该将时间戳进行递增操作，防止相等

作者回复: 1. 我再看下

2. 可以取纳秒时间，也可以用版本号

共 3 条评论 >

👍 2



Mew151

2020-08-11

方案二中：

```
public E get(int i) {  
    if (i >= totalSize) {  
        throw new IndexOutOfBoundsException();  
    }  
    return (E)elements[i];  
}
```

这个方法不需要判断第i个元素是不是已删除的吗？

作者回复: 要看这个函数的定义了，文章中对你的疑问（按照下标随机访问）也有点解释，你可以再
看下



嘉一

2020-04-21

发现一个问题，如果在SnapshotArrayIterator创建前添加了几个数据，那么会不会出现这几个数据的添加时间戳和SnapshotArrayIterator创建的时间戳是一样（因为计算机的时间戳最小是毫秒，而添加数据毕竟是非常快的操作，可能在不到一毫秒的时间就完成了）的导致这几个数据遍历不了？

作者回复: 可以使用纳秒时间或者版本号





LJK

2020-04-06

思考题感觉像是数据库的MVCC?

- 容器中维护一个每个迭代器创建时间的列表
- 每次有迭代器创建时就在这个列表中加入自己的创建时间
- 迭代器迭代完成后将列表中对应该时间点删除
- 清理容器时, 对于容器中每个元素, 如果addTime小于这个列表中的最小时间点就可以进行删除

共 11 条评论 >

👍 93



Monday

2020-04-06

在阅读本节代码实现就想到了第二种方案存在类似思考题的问题

解决方案可以在合适的时候清理带删除标记的元素。本想使用数据库的多版本控制 (MVCC) 的方案, 把所有的迭代器对象存起来, 并添加创建时间。但是冒出一个新问题, 数据库事务有 commit来表示事务已完成, 而迭代器的使用完成无法知晓, 还在思考方案中.....

共 9 条评论 >

👍 19



smartjia

2020-04-07

感觉代码有两个小问题, 若理解有误, 请帮指正:

问题1. 重复删除同一个元素时, actualSize 应该保持不变。

以下是修改后的代码:

@Override

public void remove(E obj)

{

for (int i = 0; i < totalSize; ++i) {

if (elements[i].equals(obj) && delTimestamps[i] == Long.MAX_VALUE) { // 防止重复删除

delTimestamps[i] = System.currentTimeMillis();

actualSize--; }

}

}

问题2: 遍历完一个元素后需要让 cursorInAll 自增, 否则 cursorInAll 一直指向第一个待遍历的元素。同时hasNext() 恒为true, 也需要修改。

以下是修改后的代码:

```
@Override
public E next() {
    E currentItem = arrayList.get(cursorInAll);
    cursorInAll++; //自增, 否则 cursorInAll 一直不变
    justNext();
    return currentItem;
}
```

```
@Override
public boolean hasNext() {
    return this.leftCount >= 0; // 注意是>=, 而非> ( 修改后 leftCount >= 0 恒成立, 总是返回 true)
    改为:
    return cursorInAll < arrayList.totalSize();
}
```

共 9 条评论 >

👍 15



辣么大

2020-04-06

课后思考题：类似数组动态扩容和扩容，删除元素时可以比较被删除元素的总数，在被删除元素总数 < 总数的 1/2 时，进行resize数组，清空被删除的元素，回收空间。

共 3 条评论 >

👍 15



辉哥

2020-04-07

课堂讨论：可以创建一个object类型的常量，删除数组元素时，可以将被删除数组元素的引用指向该常量。Android中的SparseArray就是采用此方式实现的

共 5 条评论 >

👍 7



马以

2020-04-06

记录一个迭代变量，每迭代一次，计数加一，迭代完一次减一，当为0的时候就可以删除标记为delete的元素了

共 2 条评论 >

👍 7

