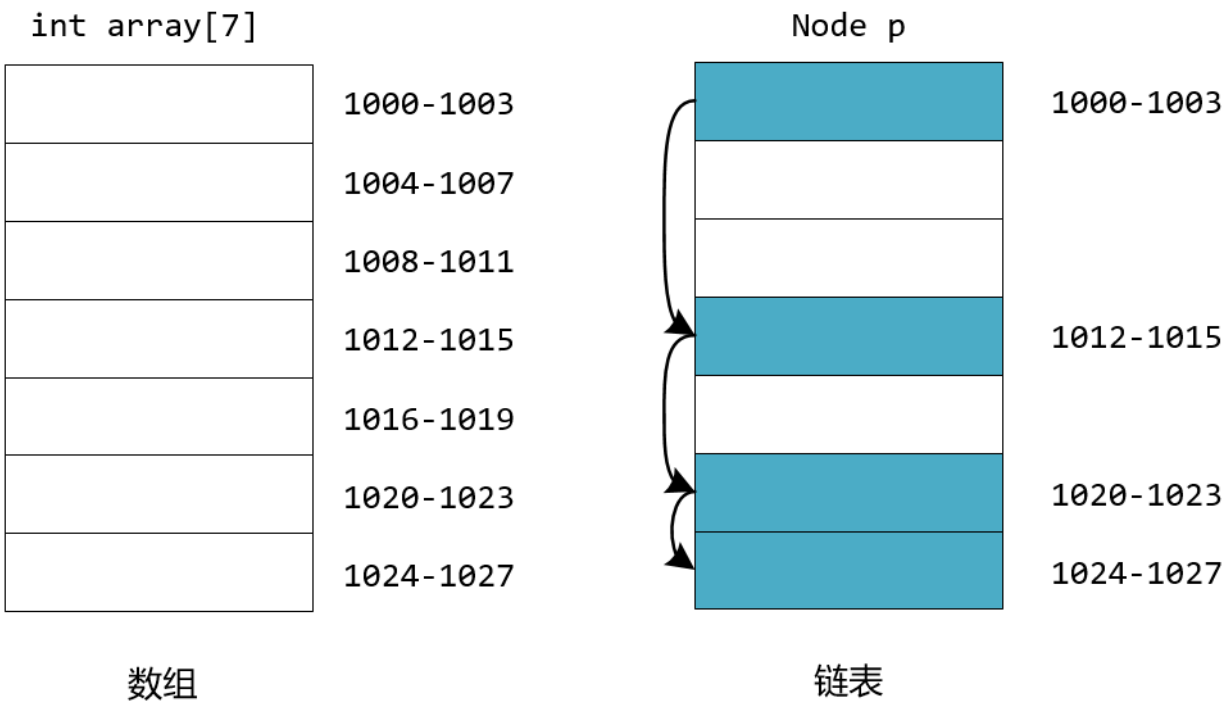
> 2018年10月25日

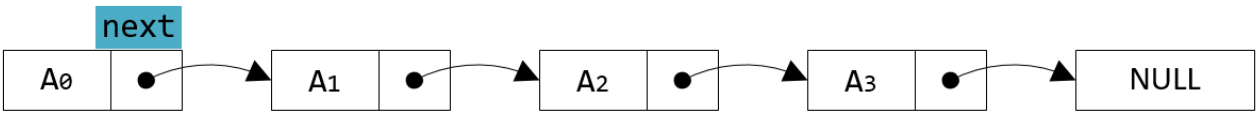
由于数组需要一块连续的内存空间，所以插入和删除时会使部分元素挪动，其时间复杂度为$O(N)$，为了避免这种开销，可以使用链表这种不连续内存的数据结构。数组和链表的内存分布：



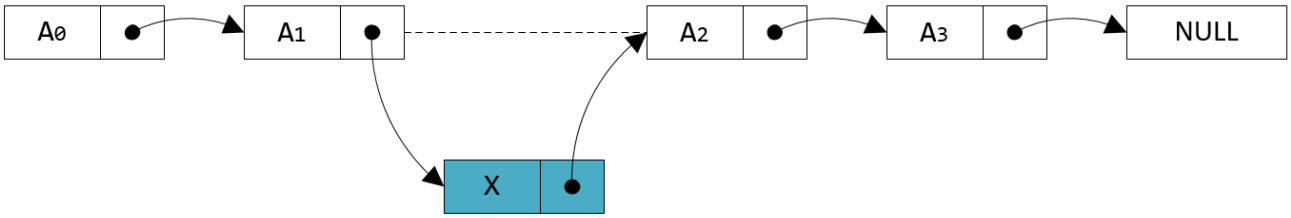
假如内存剩余可用空间大于100MB，但是其可用空间不是连续的，所以申请100MB数组时会失败，而链表由于不需要连续的内存，其通过指针将一组零散的内存块串起来，所以此时使用链表就不会有问题。

1，单链表

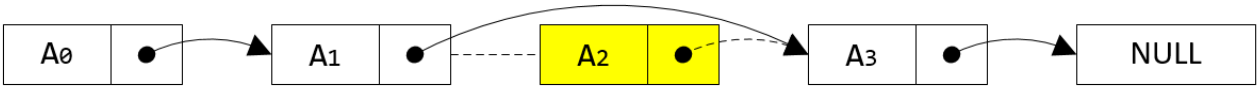
链表是由一系列的节点组成，对于单链表而言，每个节点除了存储元素外，还要存储指向下一个节点的地址，称之为`next`；最后一个节点的`next`指向`NULL`：



向链表中插入元素，如向 A_1与A_2之间插入节点`X`，首先将A_1的`next`指向`X`，然后将`X`指向A_2：

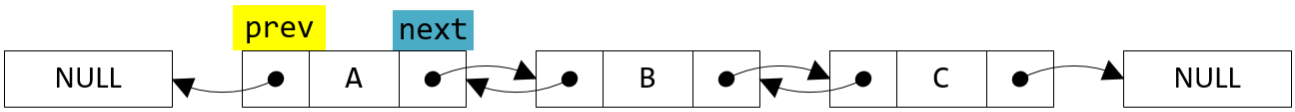


删除链表中的元素，如删除A_2，那么就将A_1的`next`指向A_3：



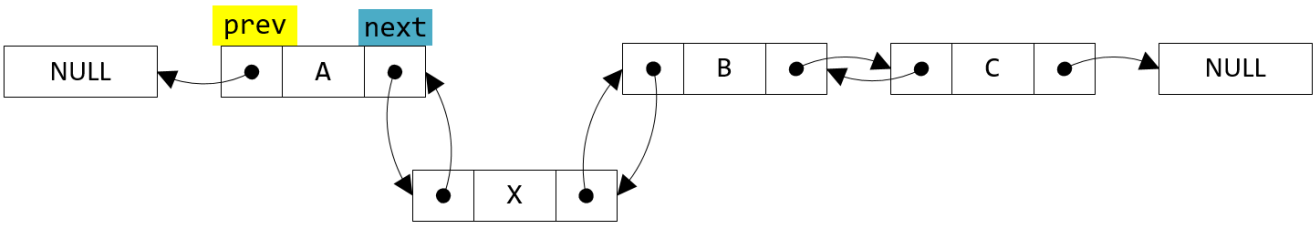
由此可见，链表的插入和删除操作，只需考虑相邻节点指针的改变，因此其时间复杂度均为$O(1)$。但是，在链表中随机访问某个位置的元素就不如数组高效了，只能从头开始遍历，直至找到所需的节点，因此其随机访问的时间复杂度为$O(N)$。

2，双向链表

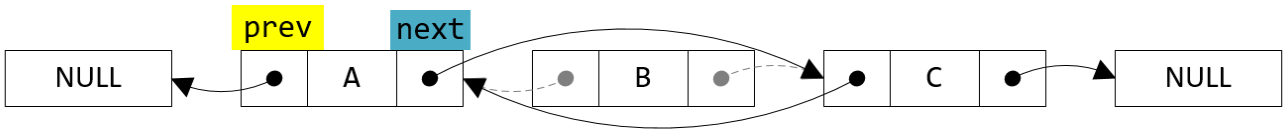


如上图，双向链表比单链表多了一个前向指针`prev`，`prev`指向前一个节点，`next`指向后一个节点。

向链表中插入元素，如在`A`节点与`B`节点之间插入节点`X`，首先将`A`节点的`next`指向`X`节点，`X`节点的`prev`指向`A`节点；然后将`X`节点的`next`指向`B`节点，`B`节点的`prev`指向`X`：

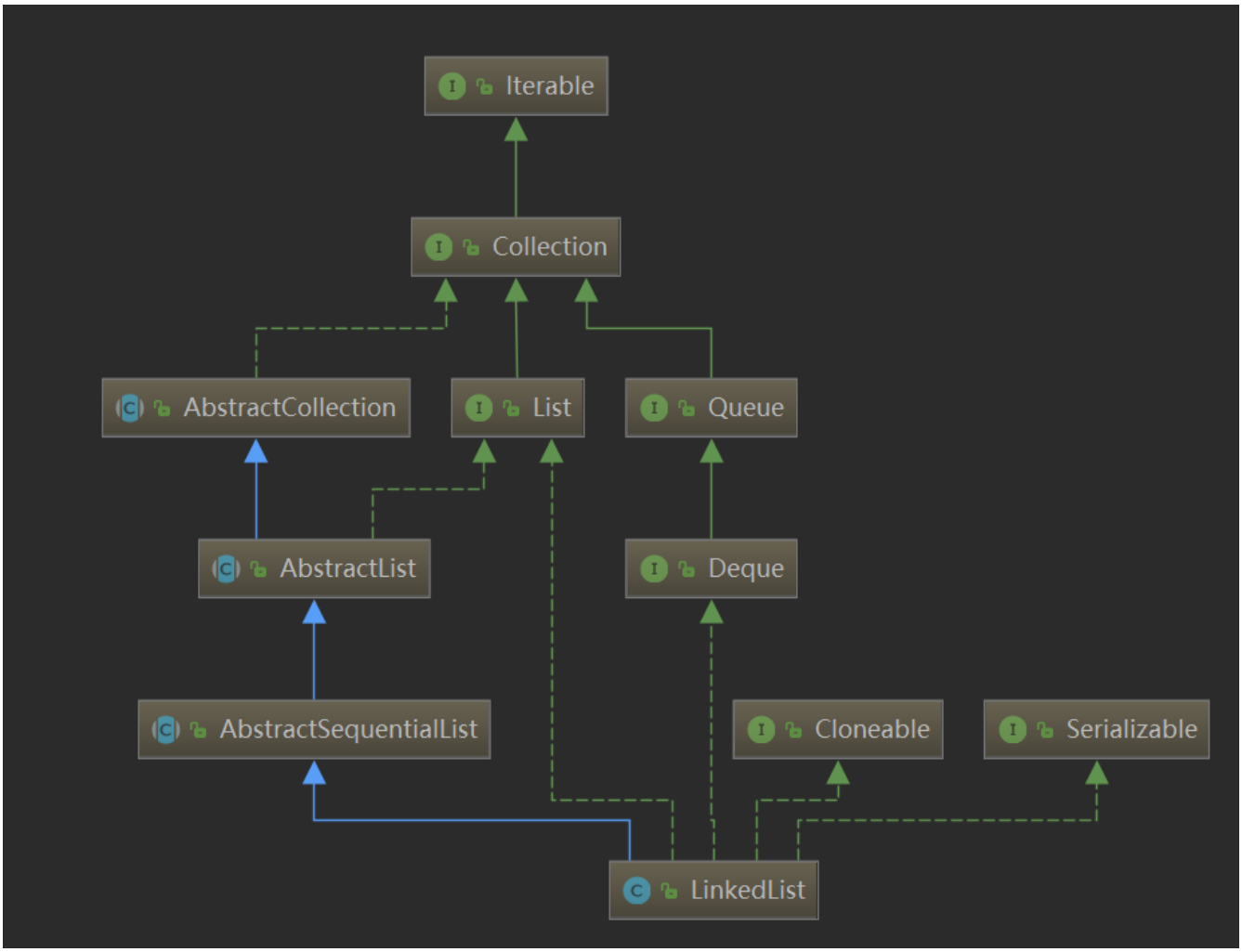


删除链表中的元素，如删除元素`B`，那么首先将`A`节点的`next`指向`B`节点的下一个节点即`C`节点，再将`C`节点的`prev`指向`A`节点：



3，容器

`JAVA`中的`LinkedList`容器就是使用双向链表实现的，其结构如下：



可以看出，其实现了`Queue`和`Deque`接口，因此可以把其当做队列或双端队列来使用，同时也可以将其当做栈来使用。

使用`LinkedList`时，需要注意的是，当需要删除某些特定元素时，使用迭代器中的`remove`方法会更节省时间；例如，删除集合中的偶数，常规操作如下：

```
    int i = 0;
    while (i < list.size()) {
        if (list.get(i) % 2 == 0) {
            list.remove(i);
        } else {
            i++;
        }
    }
```

因为`get`和`remove`都需要遍历集合，因此时间复杂度为$O(N)$，而`while`循环也需要`N`次，因此总的时间复杂度为$O(N^2)$。

使用迭代器中的`remove`：

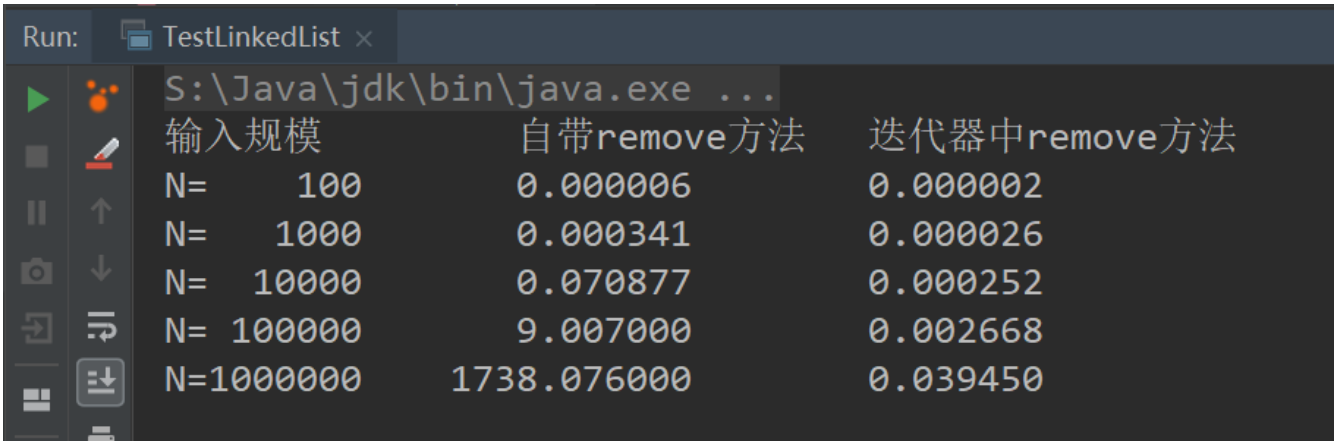
```
    Iterator<Integer> iterator = list.iterator();
    while (iterator.hasNext()) {
        if (iterator.next() % 2 == 0) {
            iterator.remove();
        }
    }
```

因为要删除的元素正好是迭代器所指向的前一个元素，由于链表的特性将其直接删除只需花费$O(1)$时间，`while`循环需要`N`次，那么总的时间复杂度为$O(N)$。

$Talk\ is\ cheap$，验证一下：

```
class TestLinkedList {
    public static void main(String[] args) {
        System.out.printf("输入规模      \t自带remove方法 \t迭代器中remove方法 \n");
        for (int n = 100; n <= 1000000; n *= 10) {
            System.out.print(String.format("N=%7d", n));
            for (int alg = 0; alg <= 1; alg++) {
                getTimingInfo(n, alg);
            }
            System.out.println();
        }
    }

    private static void getTimingInfo(int n, int alg) {
        LinkedList<Integer> list;
        Random random=new Random();
```

```
        long startTime = System.currentTimeMillis();
        long totalTime = 0;

        int k;
        for (k = 0; totalTime < 4000; k++) {
            list = new LinkedList<>();
            for (int j = 0; j <n; j++) {
                list.add(random.nextInt(n));
            }
            if (alg == 0) {
                int i = 0;
                while (i < list.size()) {
                    if (list.get(i) % 2 == 0) {
                        list.remove(i);
                    } else {
                        i++;
                    }
                }
            } else if (alg == 1) {
                Iterator<Integer> iterator = list.iterator();

                while (iterator.hasNext()) {
                    if (iterator.next() % 2 == 0) {
                        iterator.remove();
                    }
                }
            }
            totalTime = System.currentTimeMillis() - startTime;
        }

        System.out.print(String.format("\t%12.6f", (totalTime * 1000 / k) / (double) 1000000));
    }
}
```



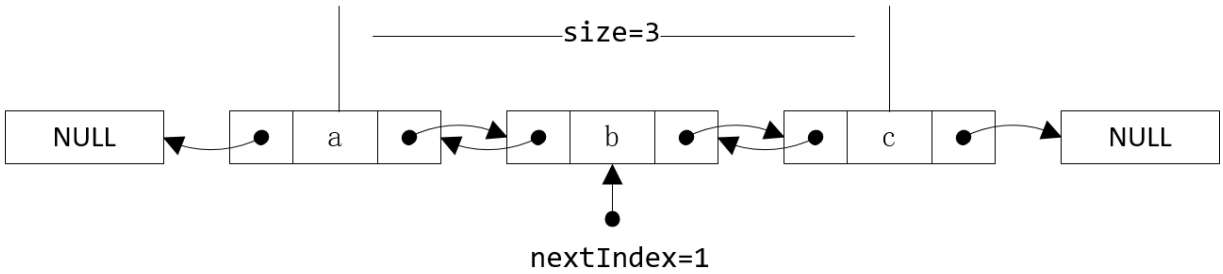
从图中可以看出，集合自带的`remove`方法所消耗的时间确实是以平方级增长的，而迭代器中的`remove`方法则是以线性增长的。

还需注意的是，在使用迭代器时，不能使用集合中的方法来进行添加和删除的操作，否则会有`ConcurrentModificationException`异常，看看`LinkedList`中迭代器部分源码：

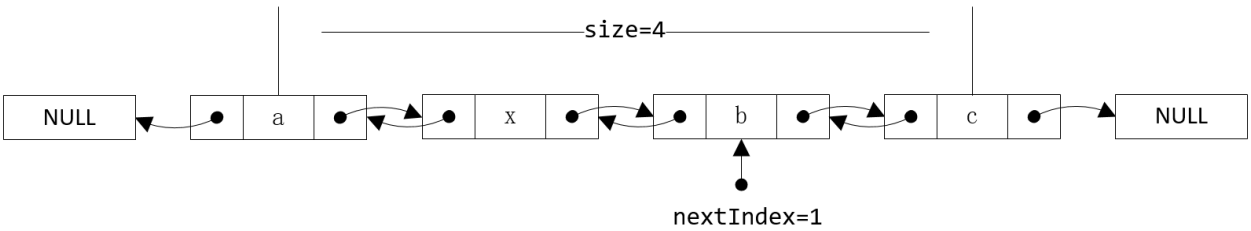
```
    private class ListItr implements ListIterator<E> {
        private Node<E> lastReturned;
        private Node<E> next;
        private int nextIndex;
        private int expectedModCount = modCount;

        public boolean hasNext() {
            return nextIndex < size;
        }

        public E next() {
            checkForComodification();
            if (!hasNext())
                throw new NoSuchElementException();

            lastReturned = next;
            next = next.next;
            nextIndex++;
            return lastReturned.item;
        }
        public void remove() {
            checkForComodification();
            if (lastReturned == null)
                throw new IllegalStateException();

            Node<E> lastNext = lastReturned.next;
```

```
27              unlink(lastReturned);
28              if (next == lastReturned)
29                  next = lastNext;
30              else
31                  nextIndex--;
32              lastReturned = null;
33              expectedModCount++;
34          }
```

假设集合中有三个元素`a,b,c`，现在使用迭代器遍历完元素`a`，那么此时`next`应返回元素`a`，其中`nextIndex=1`，而`size=3`：

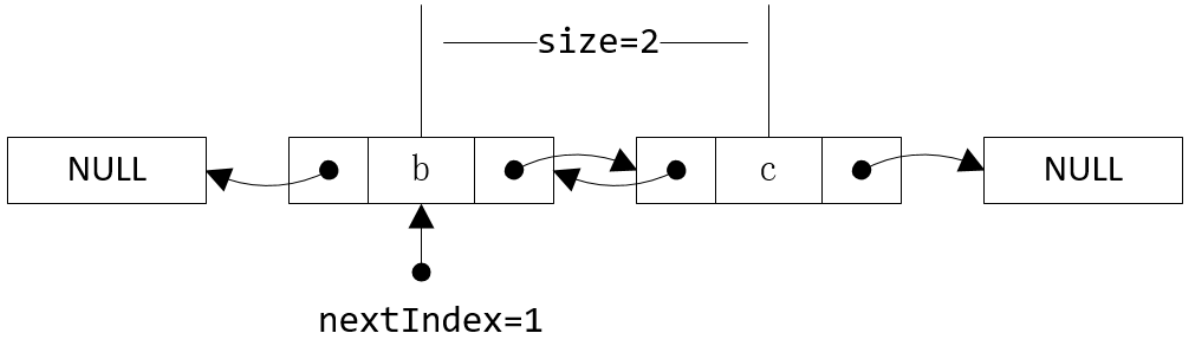


若此时在元素`b`之前插入元素`x`，那么此时`size=4`，但是`nextIndex依然为1`：



那么遍历完`b`之后`nextIndex=2`，遍历完`c`后，应该终止遍历了，但是`nextIndex=3`，此时`nextIndex<size`，`hasNext`进行判断时依然有效，显然，此时调用`next`将会返回`NULL`，会造成空指针异常。

若此时删除元素`a`，那么此时`size=2`，`nextIndex=1`：



遍历完元素`b`后，`nextIndex=2`与`size`相等，此时调用`hasNext`会返回`false`，但是集合中还有元素`c`没有被遍历到。

而迭代器中添加和删除操作会对`nextIndex`以及其他属性进行调整，因此，在使用迭代器时，应使用迭代器中的方法进行添加或删除操作。

4，LinkedList的简单实现

```
1  public class MyLinkedList<AnyType> implements Iterable<AnyType> {
2      private int theSize;
3      private int modCount = 0;
4      private Node<AnyType> beginMarker;
5      private Node<AnyType> endMarker;
6
7      private static class Node<AnyType> {
8          public AnyType data;
9          public Node<AnyType> prev;
10         public Node<AnyType> next;
11
12         public Node(AnyType data, Node<AnyType> prev, Node<AnyType>
   next) {
13             this.data = data;
14             this.prev = prev;
15             this.next = next;
16         }
17     }
18
19     public MyLinkedList() {
20         doClear();
21     }
```

```
22
23      public void clear() {
24          doClear();
25      }
26
27      private void doClear() {
28          beginMarker = new Node<>(null, null, null);
29          endMarker = new Node<>(null, beginMarker, null);
30          beginMarker.next = endMarker;
31
32          theSize = 0;
33          modCount++;
34      }
35
36      public int size() {
37          return theSize;
38      }
39
40      public boolean isEmpty() {
41          return size() == 0;
42      }
43
44      public boolean add(AnyType element) {
45          add(size(), element);
46          return true;
47      }
48
49      public void add(int index, AnyType element) {
50          addBefore(getNode(index, 0, size()), element);
51      }
52
53      private void addBefore(Node<AnyType> p, AnyType element) {
54          Node<AnyType> newNode = new Node<>(element, p.prev, p);
55          newNode.prev.next = newNode;
56          p.prev = newNode;
57          theSize++;
58          modCount++;
59      }
60
61      public AnyType get(int index) {
62          return getNode(index).data;
63      }
```

```
64
65      public AnyType set(int index, AnyType newVal) {
66          Node<AnyType> p = getNode(index);
67          AnyType oldVal = p.data;
68
69          p.data = newVal;
70          return oldVal;
71      }
72
73      private Node<AnyType> getNode(int index) {
74          return getNode(index, 0, size() - 1);
75      }
76
77      private Node<AnyType> getNode(int index, int lower, int upper) {
78          Node<AnyType> p;
79          if (index < lower || index > upper) {
80              throw new IndexOutOfBoundsException("getNode index: " +
    index + "; size: " + size());
81          }
82          if (index < size() / 2) {
83              p = beginMarker.next;
84              for (int i = 0; i < index; i++) {
85                  p = p.next;
86              }
87          } else {
88              p = endMarker;
89              for (int i = size(); i > index; i--) {
90                  p = p.prev;
91              }
92          }
93          return p;
94      }
95
96      public AnyType remove(int index) {
97          return remove(getNode(index));
98      }
99
100     private AnyType remove(Node<AnyType> p) {
101         p.next.prev = p.prev;
102         p.prev.next = p.next;
103         theSize--;
104         modCount++;
```

```
105
106         return p.data;
107     }
108
109     @Override
110     public String toString() {
111         StringBuilder sb = new StringBuilder("[ ");
112
113         for (AnyType element : this) {
114             sb.append(element + " ");
115         }
116         sb.append("]");
117         return sb.toString();
118     }
119
120     @Override
121     public Iterator<AnyType> iterator() {
122         return new LinkedListIterator();
123     }
124
125     private class LinkedListIterator implements Iterator<AnyType> {
126         private Node<AnyType> current = beginMarker.next;
127         private int expectedModCount = modCount;
128         private boolean okToRemove = false;
129
130         @Override
131         public boolean hasNext() {
132             return current != endMarker;
133         }
134
135         @Override
136         public AnyType next() {
137             if (modCount != expectedModCount) {
138                 throw new ConcurrentModificationException();
139             }
140             if (!hasNext()) {
141                 throw new NoSuchElementException();
142             }
143             AnyType nextElement = current.data;
144             current = current.next;
145             okToRemove = true;
146             return nextElement;
```

```
        }

        @Override
        public void remove() {
            if (modCount != expectedModCount) {
                throw new ConcurrentModificationException();
            }
            if (!okToRemove) {
                throw new IllegalStateException();
            }

            MyLinkedList.this.remove(current.prev);
            expectedModCount++;
            okToRemove = false;
        }
    }
}
```

5，比较

时间复杂度	数组	链表
插入删除	$O(N)$	$O(1)$
随机访问	$O(1)$	$O(N)$

数组使用连续空间，因此可以很容易计算其中某个元素的地址，实现常数级的随机访问，这也是数组的一个缺点，使用连续空间那么其大小要是固定的，并且一经申明就不可以更改，若申明过大，一是系统可能没有足够的连续内存，二是若用不了这么多空间，会造成浪费；即使`ArrayList`支持动态扩容，若此时已经存储了1GB的数据，而且没有多余的空间了，就要扩容至1.5GB，并把之前的1GB数据拷贝过来，会非常的耗时。

但是，如果对内存的使用比较苛刻，那么久适合使用数组，因为链表中每个节点都需要消耗额外的空间去存储`next`和`prev`。对链表进行频繁的插入和删除时，会频繁的造成内存的申请和释放，容易造成内存碎片，在`JAVA`中，还会造成频繁的`GC`。