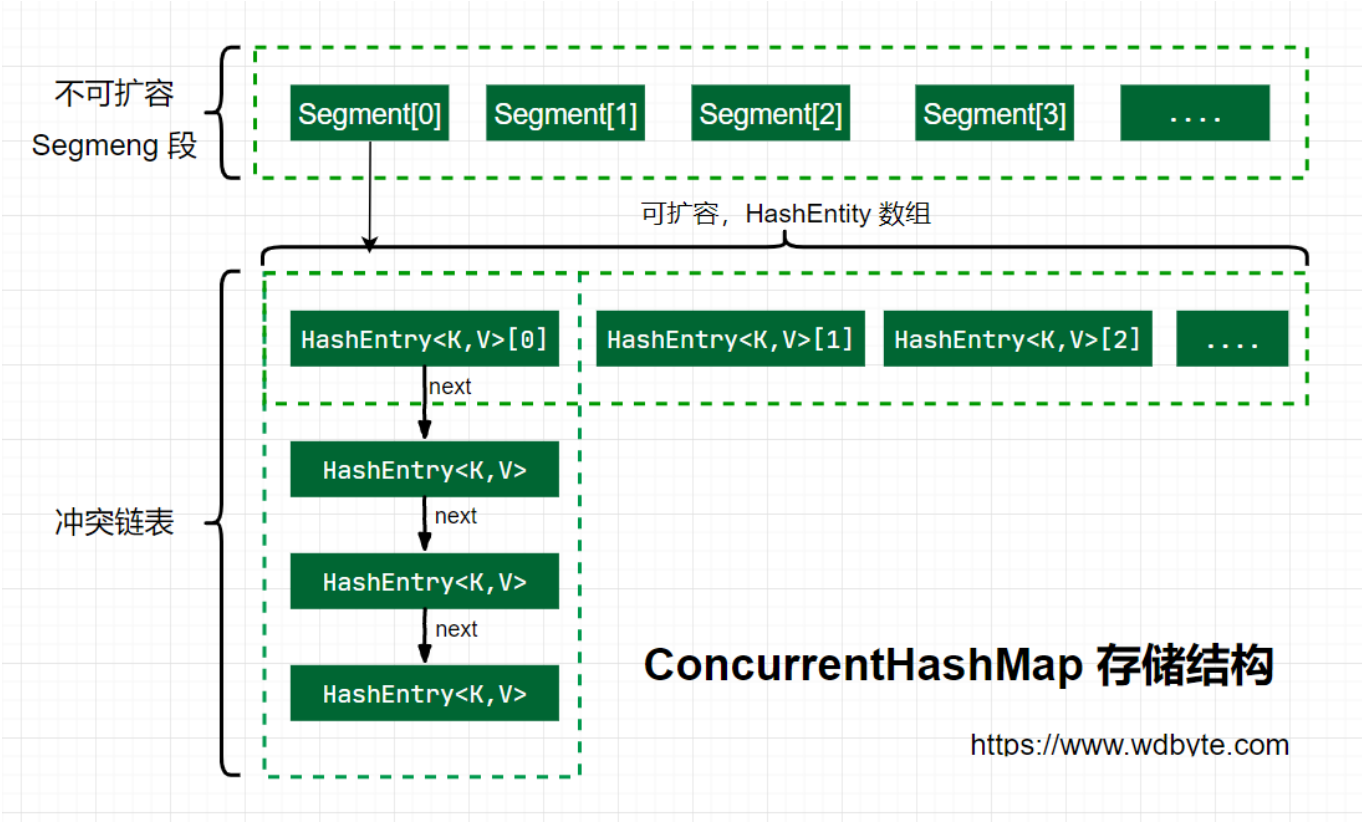
> 本文来自公众号：末读代码的投稿，原文地址：
> https://mp.weixin.qq.com/s/AHWzboztt53ZfFZmsSnMSw 。

上一篇文章介绍了 HashMap 源码，反响不错，也有很多同学发表了自己的观点，这次又来了，这次是 `ConcurrentHashMap` 了，作为线程安全的HashMap ，它的使用频率也是很高。那么它的存储结构和实现原理是怎么样的呢?

1. ConcurrentHashMap 1.7

1. 存储结构



Java 7 中 ConcurrentHashMap 的存储结构如上图，ConcurrnetHashMap 由很多个 Segment 组合，而每一个 Segment 是一个类似于 HashMap 的结构，所以每一个 HashMap 的内部可以进行扩容。但是 Segment 的个数一旦**初始化就不能改变**，默认 Segment 的个数是 16 个，你也可以认为 ConcurrentHashMap 默认支持最多 16 个线程并发。

2. 初始化

通过 ConcurrentHashMap 的无参构造探寻 ConcurrentHashMap 的初始化流程。

```
    /**
     * Creates a new, empty map with a default initial capacity (16),
     * load factor (0.75) and concurrencyLevel (16).
     */
    public ConcurrentHashMap() {
        this(DEFAULT_INITIAL_CAPACITY, DEFAULT_LOAD_FACTOR,
DEFAULT_CONCURRENCY_LEVEL);
    }
```

无参构造中调用了有参构造，传入了三个参数的默认值，他们的值是。

```
    /**
     * 默认初始化容量
     */
    static final int DEFAULT_INITIAL_CAPACITY = 16;

    /**
     * 默认负载因子
     */
    static final float DEFAULT_LOAD_FACTOR = 0.75f;

    /**
     * 默认并发级别
     */
    static final int DEFAULT_CONCURRENCY_LEVEL = 16;
```

接着看下这个有参构造函数的内部实现逻辑。

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public ConcurrentHashMap(int initialCapacity,float loadFactor, int
concurrencyLevel) {
    // 参数校验
    if (!(loadFactor > 0) || initialCapacity < 0 || concurrencyLevel <= 0)
        throw new IllegalArgumentException();
    // 校验并发级别大小，大于 1<<16，重置为 65536
    if (concurrencyLevel > MAX_SEGMENTS)
        concurrencyLevel = MAX_SEGMENTS;
    // Find power-of-two sizes best matching arguments
    // 2的多少次方
    int sshift = 0;
    int ssize = 1;
    // 这个循环可以找到 concurrencyLevel 之上最近的 2的次方值
    while (ssize < concurrencyLevel) {
        ++sshift;
        ssize <<= 1;
    }
    // 记录段偏移量
    this.segmentShift = 32 - sshift;
    // 记录段掩码
    this.segmentMask = ssize - 1;
    // 设置容量
    if (initialCapacity > MAXIMUM_CAPACITY)
        initialCapacity = MAXIMUM_CAPACITY;
    // c = 容量 / ssize ，默认 16 / 16 = 1，这里是计算每个 Segment 中的类似于 HashMap
的容量
    int c = initialCapacity / ssize;
    if (c * ssize < initialCapacity)
        ++c;
```

```
    int cap = MIN_SEGMENT_TABLE_CAPACITY;
    //Segment 中的类似于 HashMap 的容量至少是2或者2的倍数
    while (cap < c)
        cap <<= 1;
    // create segments and segments[0]
    // 创建 Segment 数组，设置 segments[0]
    Segment<K,V> s0 = new Segment<K,V>(loadFactor, (int)(cap * loadFactor),
                         (HashEntry<K,V>[])new HashEntry[cap]);
    Segment<K,V>[] ss = (Segment<K,V>[])new Segment[ssize];
    UNSAFE.putOrderedObject(ss, SBASE, s0); // ordered write of segments[0]
    this.segments = ss;
}
```

总结一下在 Java 7 中 ConcurrnetHashMap 的初始化逻辑。

1. 必要参数校验。
2. 校验并发级别 concurrencyLevel 大小，如果大于最大值，重置为最大值。无惨构造**默认值是 16.**
3. 寻找并发级别 concurrencyLevel 之上最近的 **2 的幂次方**值，作为初始化容量大小，**默认是 16。**
4. 记录 segmentShift 偏移量，这个值为【容量 = 2 的N次方】中的 N，在后面 Put 时计算位置时会用到。**默认是 32 - sshift = 28**.
5. 记录 segmentMask，默认是 ssize - 1 = 16 -1 = 15.
6. **初始化 segments[0]**，**默认大小为 2**，**负载因子 0.75**，**扩容阀值是 2*0.75=1.5**，插入第二个值时才会进行扩容。

3. put

接着上面的初始化参数继续查看 put 方法源码。

```
/**
 * Maps the specified key to the specified value in this table.
 * Neither the key nor the value can be null.
 *
 * <p> The value can be retrieved by calling the <tt>get</tt> method
 * with a key that is equal to the original key.
 *
 * @param key key with which the specified value is to be associated
 * @param value value to be associated with the specified key
 * @return the previous value associated with <tt>key</tt>, or
 *         <tt>null</tt> if there was no mapping for <tt>key</tt>
 * @throws NullPointerException if the specified key or value is null
 */
public V put(K key, V value) {
    Segment<K,V> s;
    if (value == null)
        throw new NullPointerException();
    int hash = hash(key);
    // hash 值无符号右移 28位（初始化时获得），然后与 segmentMask=15 做与运算
    // 其实也就是把高4位与segmentMask（1111）做与运算
    int j = (hash >>> segmentShift) & segmentMask;
    if ((s = (Segment<K,V>)UNSAFE.getObject          // nonvolatile; recheck
```

```
            (segments, (j << SSHIFT) + SBASE)) == null) //  in ensureSegment
            // 如果查找到的 Segment 为空，初始化
            s = ensureSegment(j);
        return s.put(key, hash, value, false);
    }

    /**
     * Returns the segment for the given index, creating it and
     * recording in segment table (via CAS) if not already present.
     *
     * @param k the index
     * @return the segment
     */
    @SuppressWarnings("unchecked")
    private Segment<K,V> ensureSegment(int k) {
        final Segment<K,V>[] ss = this.segments;
        long u = (k << SSHIFT) + SBASE; // raw offset
        Segment<K,V> seg;
        // 判断 u 位置的 Segment 是否为null
        if ((seg = (Segment<K,V>)UNSAFE.getObjectVolatile(ss, u)) == null) {
            Segment<K,V> proto = ss[0]; // use segment 0 as prototype
            // 获取0号 segment 里的 HashEntry<K,V> 初始化长度
            int cap = proto.table.length;
            // 获取0号 segment 里的 hash 表里的扩容负载因子，所有的 segment 的 loadFactor
    是相同的
            float lf = proto.loadFactor;
            // 计算扩容阀值
            int threshold = (int)(cap * lf);
            // 创建一个 cap 容量的 HashEntry 数组
            HashEntry<K,V>[] tab = (HashEntry<K,V>[])new HashEntry[cap];
            if ((seg = (Segment<K,V>)UNSAFE.getObjectVolatile(ss, u)) == null) { //
    recheck
                // 再次检查 u 位置的 Segment 是否为null，因为这时可能有其他线程进行了操作
                Segment<K,V> s = new Segment<K,V>(lf, threshold, tab);
                // 自旋检查 u 位置的 Segment 是否为null
                while ((seg = (Segment<K,V>)UNSAFE.getObjectVolatile(ss, u))
                       == null) {
                    // 使用CAS 赋值，只会成功一次
                    if (UNSAFE.compareAndSwapObject(ss, u, null, seg = s))
                        break;
                }
            }
        }
        return seg;
    }
```

上面的源码分析了 ConcurrentHashMap 在 put 一个数据时的处理流程，下面梳理下具体流程。

1. 计算要 put 的 key 的位置，获取指定位置的 Segment。
2. 如果指定位置的 Segment 为空，则初始化这个 Segment.

   初始化 Segment 流程：

1. 检查计算得到的位置的 Segment 是否为null.
2. 为 null 继续初始化，使用 Segment[0] 的容量和负载因子创建一个 HashEntry 数组。
3. 再次检查计算得到的指定位置的 Segment 是否为null.
4. 使用创建的 HashEntry 数组初始化这个 Segment.
5. 自旋判断计算得到的指定位置的 Segment 是否为null，使用 CAS 在这个位置赋值为 Segment.

3. Segment.put 插入 key,value 值。

上面探究了获取 Segment 段和初始化 Segment 段的操作。最后一行的 Segment 的 put 方法还没有查看，继续分析。

```
final V put(K key, int hash, V value, boolean onlyIfAbsent) {
    // 获取 ReentrantLock 独占锁，获取不到，scanAndLockForPut 获取。
    HashEntry<K,V> node = tryLock() ? null : scanAndLockForPut(key, hash, value);
    V oldValue;
    try {
        HashEntry<K,V>[] tab = table;
        // 计算要put的数据位置
        int index = (tab.length - 1) & hash;
        // CAS 获取 index 坐标的值
        HashEntry<K,V> first = entryAt(tab, index);
        for (HashEntry<K,V> e = first;;) {
            if (e != null) {
                // 检查是否 key 已经存在，如果存在，则遍历链表寻找位置，找到后替换
value
                K k;
                if ((k = e.key) == key ||
                    (e.hash == hash && key.equals(k))) {
                    oldValue = e.value;
                    if (!onlyIfAbsent) {
                        e.value = value;
                        ++modCount;
                    }
                    break;
                }
                e = e.next;
            }
            else {
                // first 有值没说明 index 位置已经有值了，有冲突，链表头插法。
                if (node != null)
                    node.setNext(first);
                else
                    node = new HashEntry<K,V>(hash, key, value, first);
                int c = count + 1;
                // 容量大于扩容阀值，小于最大容量，进行扩容
                if (c > threshold && tab.length < MAXIMUM_CAPACITY)
                    rehash(node);
                else
                    // index 位置赋值 node，node 可能是一个元素，也可能是一个链表的表
头
                    setEntryAt(tab, index, node);
                ++modCount;
```

```
                count = c;
                oldValue = null;
                break;
            }
        }
    } finally {
        unlock();
    }
    return oldValue;
}
```

由于 Segment 继承了 ReentrantLock，所以 Segment 内部可以很方便的获取锁，put 流程就用到了这个功能。

1. tryLock() 获取锁，获取不到使用 `scanAndLockForPut` 方法继续获取。
2. 计算 put 的数据要放入的 index 位置，然后获取这个位置上的 HashEntry 。
3. 遍历 put 新元素，为什么要遍历？因为这里获取的 HashEntry 可能是一个空元素，也可能是链表已存在，所以要区别对待。

   如果这个位置上的 **HashEntry 不存在**：

   1. 如果当前容量大于扩容阀值，小于最大容量，**进行扩容。**
   2. 直接头插法插入。

   如果这个位置上的 **HashEntry 存在**：

   1. 判断链表当前元素 Key 和 hash 值是否和要 put 的 key 和 hash 值一致。一致则替换值
   2. 不一致，获取链表下一个节点，直到发现相同进行值替换，或者链表表里完毕没有相同的。
      1. 如果当前容量大于扩容阀值，小于最大容量，**进行扩容。**
      2. 直接链表头插法插入。

4. 如果要插入的位置之前已经存在，替换后返回旧值，否则返回 null.

这里面的第一步中的 scanAndLockForPut 操作这里没有介绍，这个方法做的操作就是不断的自旋 `tryLock()` 获取锁。当自旋次数大于指定次数时，使用 `lock()` 阻塞获取锁。在自旋时顺表获取下 hash 位置的 HashEntry。

```
private HashEntry<K,V> scanAndLockForPut(K key, int hash, V value) {
    HashEntry<K,V> first = entryForHash(this, hash);
    HashEntry<K,V> e = first;
    HashEntry<K,V> node = null;
    int retries = -1; // negative while locating node
    // 自旋获取锁
    while (!tryLock()) {
        HashEntry<K,V> f; // to recheck first below
        if (retries < 0) {
            if (e == null) {
                if (node == null) // speculatively create node
                    node = new HashEntry<K,V>(hash, key, value, null);
                retries = 0;
```

```
            }
            else if (key.equals(e.key))
                retries = 0;
            else
                e = e.next;
        }
        else if (++retries > MAX_SCAN_RETRIES) {
            // 自旋达到指定次数后，阻塞等到只到获取到锁
            lock();
            break;
        }
        else if ((retries & 1) == 0 &&
                 (f = entryForHash(this, hash)) != first) {
            e = first = f; // re-traverse if entry changed
            retries = -1;
        }
    }
    return node;
}
```

4. 扩容 rehash

ConcurrentHashMap 的扩容只会扩容到原来的两倍。老数组里的数据移动到新的数组时，位置要么不变，要么变为 index+ oldSize，参数里的 node 会在扩容之后使用链表**头插法**插入到指定位置。

```
private void rehash(HashEntry<K,V> node) {
    HashEntry<K,V>[] oldTable = table;
    // 老容量
    int oldCapacity = oldTable.length;
    // 新容量，扩大两倍
    int newCapacity = oldCapacity << 1;
    // 新的扩容阀值
    threshold = (int)(newCapacity * loadFactor);
    // 创建新的数组
    HashEntry<K,V>[] newTable = (HashEntry<K,V>[]) new HashEntry[newCapacity];
    // 新的掩码，默认2扩容后是4，-1是3，二进制就是11。
    int sizeMask = newCapacity - 1;
    for (int i = 0; i < oldCapacity ; i++) {
        // 遍历老数组
        HashEntry<K,V> e = oldTable[i];
        if (e != null) {
            HashEntry<K,V> next = e.next;
            // 计算新的位置，新的位置只可能是不便或者是老的位置+老的容量。
            int idx = e.hash & sizeMask;
            if (next == null)   //  Single node on list
                // 如果当前位置还不是链表，只是一个元素，直接赋值
                newTable[idx] = e;
            else { // Reuse consecutive sequence at same slot
                // 如果是链表了
                HashEntry<K,V> lastRun = e;
```

```
                int lastIdx = idx;
                // 新的位置只可能是不便或者是老的位置+老的容量。
                // 遍历结束后，lastRun 后面的元素位置都是相同的
                for (HashEntry<K,V> last = next; last != null; last = last.next) {
                    int k = last.hash & sizeMask;
                    if (k != lastIdx) {
                        lastIdx = k;
                        lastRun = last;
                    }
                }
                // ，lastRun 后面的元素位置都是相同的，直接作为链表赋值到新位置。
                newTable[lastIdx] = lastRun;
                // Clone remaining nodes
                for (HashEntry<K,V> p = e; p != lastRun; p = p.next) {
                    // 遍历剩余元素，头插法到指定 k 位置。
                    V v = p.value;
                    int h = p.hash;
                    int k = h & sizeMask;
                    HashEntry<K,V> n = newTable[k];
                    newTable[k] = new HashEntry<K,V>(h, p.key, v, n);
                }
            }
        }
    }
    // 头插法插入新的节点
    int nodeIndex = node.hash & sizeMask; // add the new node
    node.setNext(newTable[nodeIndex]);
    newTable[nodeIndex] = node;
    table = newTable;
}
```

有些同学可能会对最后的两个 for 循环有疑惑，这里第一个 for 是为了寻找这样一个节点，这个节点后面的所有 next 节点的新位置都是相同的。然后把这个作为一个链表赋值到新位置。第二个 for 循环是为了把剩余的元素通过头插法插入到指定位置链表。这样实现的原因可能是基于概率统计，有深入研究的同学可以发表下意见。

5. get

到这里就很简单了，get 方法只需要两步即可。

1. 计算得到 key 的存放位置。
2. 遍历指定位置查找相同 key 的 value 值。

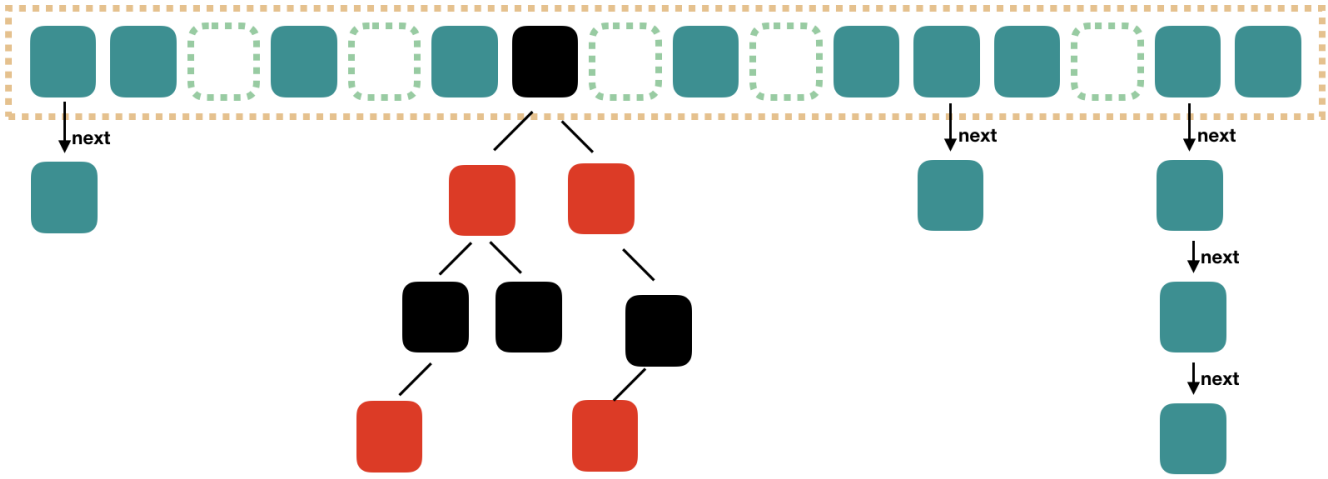
```
public V get(Object key) {
    Segment<K,V> s; // manually integrate access methods to reduce overhead
    HashEntry<K,V>[] tab;
    int h = hash(key);
    long u = (((h >>> segmentShift) & segmentMask) << SSHIFT) + SBASE;
    // 计算得到 key 的存放位置
    if ((s = (Segment<K,V>)UNSAFE.getObjectVolatile(segments, u)) != null &&
        (tab = s.table) != null) {
```

```
        for (HashEntry<K,V> e = (HashEntry<K,V>) UNSAFE.getObjectVolatile
                 (tab, ((long)(((tab.length - 1) & h)) << TSHIFT) + TBASE);
             e != null; e = e.next) {
            // 如果是链表，遍历查找到相同 key 的 value。
            K k;
            if ((k = e.key) == key || (e.hash == h && key.equals(k)))
                return e.value;
        }
    }
    return null;
}
```

2. ConcurrentHashMap 1.8

1. 存储结构

Java8 ConcurrentHashMap 结构



可以发现 Java8 的 ConcurrentHashMap 相对于 Java7 来说变化比较大，不再是之前的 **Segment 数组 + HashEntry 数组 + 链表**，而是 **Node 数组 + 链表 / 红黑树**。当冲突链表达到一定长度时，链表会转换成红黑树。

2. 初始化 initTable

```
/**
 * Initializes table, using the size recorded in sizeCtl.
 */
private final Node<K,V>[] initTable() {
    Node<K,V>[] tab; int sc;
    while ((tab = table) == null || tab.length == 0) {
         / /  如果 sizeCtl < 0 ,说明另外的线程执行CAS 成功，正在进行初始化。
        if ((sc = sizeCtl) < 0)
            // 让出 CPU 使用权
            Thread.yield(); // lost initialization race; just spin
        else if (U.compareAndSwapInt(this, SIZECTL, sc, -1)) {
            try {
```

```
                if ((tab = table) == null || tab.length == 0) {
                    int n = (sc > 0) ? sc : DEFAULT_CAPACITY;
                    @SuppressWarnings("unchecked")
                    Node<K,V>[] nt = (Node<K,V>[])new Node<?,?>[n];
                    table = tab = nt;
                    sc = n - (n >>> 2);
                }
            } finally {
                sizeCtl = sc;
            }
            break;
        }
    }
    return tab;
}
```

从源码中可以发现 ConcurrentHashMap 的初始化是通过**自旋和 CAS** 操作完成的。里面需要注意的是变量 `sizeCtl` ，它的值决定着当前的初始化状态。

1. -1 说明正在初始化
2. -N 说明有N-1个线程正在进行扩容
3. 表示 table 初始化大小，如果 table 没有初始化
4. 表示 table 容量，如果 table 已经初始化。

3. put

直接过一遍 put 源码。

```
public V put(K key, V value) {
    return putVal(key, value, false);
}

/** Implementation for put and putIfAbsent */
final V putVal(K key, V value, boolean onlyIfAbsent) {
    // key 和 value 不能为空
    if (key == null || value == null) throw new NullPointerException();
    int hash = spread(key.hashCode());
    int binCount = 0;
    for (Node<K,V>[] tab = table;;) {
        // f = 目标位置元素
        Node<K,V> f; int n, i, fh;// fh 后面存放目标位置的元素 hash 值
        if (tab == null || (n = tab.length) == 0)
            // 数组桶为空，初始化数组桶（自旋+CAS）
            tab = initTable();
        else if ((f = tabAt(tab, i = (n - 1) & hash)) == null) {
            // 桶内为空，CAS 放入，不加锁，成功了就直接 break 跳出
            if (casTabAt(tab, i, null,new Node<K,V>(hash, key, value, null)))
                break;  // no lock when adding to empty bin
        }
        else if ((fh = f.hash) == MOVED)
            tab = helpTransfer(tab, f);
```

```
            else {
                V oldVal = null;
                // 使用 synchronized 加锁加入节点
                synchronized (f) {
                    if (tabAt(tab, i) == f) {
                        // 说明是链表
                        if (fh >= 0) {
                            binCount = 1;
                            // 循环加入新的或者覆盖节点
                            for (Node<K,V> e = f;; ++binCount) {
                                K ek;
                                if (e.hash == hash &&
                                    ((ek = e.key) == key ||
                                     (ek != null && key.equals(ek)))) {
                                    oldVal = e.val;
                                    if (!onlyIfAbsent)
                                        e.val = value;
                                    break;
                                }
                                Node<K,V> pred = e;
                                if ((e = e.next) == null) {
                                    pred.next = new Node<K,V>(hash, key,
                                                              value, null);
                                    break;
                                }
                            }
                        }
                        else if (f instanceof TreeBin) {
                            // 红黑树
                            Node<K,V> p;
                            binCount = 2;
                            if ((p = ((TreeBin<K,V>)f).putTreeVal(hash, key,
                                                                  value)) != null) {
                                oldVal = p.val;
                                if (!onlyIfAbsent)
                                    p.val = value;
                            }
                        }
                    }
                }
                if (binCount != 0) {
                    if (binCount >= TREEIFY_THRESHOLD)
                        treeifyBin(tab, i);
                    if (oldVal != null)
                        return oldVal;
                    break;
                }
            }
        }
        addCount(1L, binCount);
        return null;
    }
```

1. 根据 key 计算出 hashcode 。
2. 判断是否需要进行初始化。
3. 即为当前 key 定位出的 Node，如果为空表示当前位置可以写入数据，利用 CAS 尝试写入，失败则自旋保证成功。
4. 如果当前位置的 `hashcode == MOVED == -1`,则需要进行扩容。
5. 如果都不满足，则利用 synchronized 锁写入数据。
6. 如果数量大于 `TREEIFY_THRESHOLD` 则要转换为红黑树。

4. get

get 流程比较简单，直接过一遍源码。

```
public V get(Object key) {
    Node<K,V>[] tab; Node<K,V> e, p; int n, eh; K ek;
    // key 所在的 hash 位置
    int h = spread(key.hashCode());
    if ((tab = table) != null && (n = tab.length) > 0 &&
        (e = tabAt(tab, (n - 1) & h)) != null) {
        // 如果指定位置元素存在，头结点hash值相同
        if ((eh = e.hash) == h) {
            if ((ek = e.key) == key || (ek != null && key.equals(ek)))
                // key hash 值相等，key值相同，直接返回元素 value
                return e.val;
        }
        else if (eh < 0)
            // 头结点hash值小于0，说明正在扩容或者是红黑树，find查找
            return (p = e.find(h, key)) != null ? p.val : null;
        while ((e = e.next) != null) {
            // 是链表，遍历查找
            if (e.hash == h &&
                ((ek = e.key) == key || (ek != null && key.equals(ek))))
                return e.val;
        }
    }
    return null;
}
```

总结一下 get 过程：

1. 根据 hash 值计算位置。
2. 查找到指定位置，如果头节点就是要找的，直接返回它的 value.
3. 如果头节点 hash 值小于 0 ，说明正在扩容或者是红黑树，查找之。
4. 如果是链表，遍历查找之。

总结：

总的来说 ConcurrentHashMap 在 Java8 中相对于 Java7 来说变化还是挺大的，

3. 总结

Java7 中 ConcurrentHashMap 使用的分段锁，也就是每一个 Segment 上同时只有一个线程可以操作，每一个 Segment 都是一个类似 HashMap 数组的结构，它可以扩容，它的冲突会转化为链表。但是 Segment 的个数一但初始化就不能改变。

Java8 中的 ConcurrentHashMap 使用的 Synchronized 锁加 CAS 的机制。结构也由 Java7 中的 **Segment 数组 + HashEntry 数组 + 链表** 进化成了 **Node 数组 + 链表 / 红黑树**，Node 是类似于一个 HashEntry 的结构。它的冲突再达到一定大小时会转化成红黑树，在冲突小于一定数量时又退回链表。

有些同学可能对 Synchronized 的性能存在疑问，其实 Synchronized 锁自从引入锁升级策略后，性能不再是问题，有兴趣的同学可以自己了解下 Synchronized 的**锁升级**。