一个系列彻底搞懂map(一):hash表

map映射结构频繁地运用在日常的开发之中，因此成为了面试中的高频考点，本系列将从map的两种实现(hash以及红黑树)出发，再详解go语言的map，最后讨论如何实现高性能的并发安全map，彻底搞懂map结构的奥秘。

什么是map

维基百科的定义：

> *In computer science, an **associative array**, **map**, **symbol table**, or **dictionary** is an abstract data type composed of a collection of (key, value) pairs, such that each possible key appears at most once in the collection.*

map又称为关联数组、字典、映射，是一个抽象的数组结构，用于存取1:1映射的**键值对**。其实数组也是一种映射结构，提供数组索引到值的映射，但数组的索引必须为整数类型，而map却可以让键为任何可比较类型如字符串。

map一般会提供如下操作：**增删改查**键值对。map大致有两种底层数据结构实现：hash表以及红黑树。根据实现的不同，从而具有不同的特性以及存取效率。

- hash表也称散列表，实现采用空间换时间的思想，理想情况下能让hash map的平均存取效率达到O(1)，最坏情况下退化为O(n)，hash表采用哈希函数将键值对打散到不同的桶中，对桶的顺序遍历无法做到对键的排序。
- 红黑树是一种平衡二叉查找树结构，插入时保持左子树每个节点的key小于根节点，右子树每个节点的key大于根节点，这种特性使得红黑树实现的map能够进行排序。为了防止极端情况下可能出现单支树，从而使时间复杂度退化为O(n)，对二叉查找树的插入和删除都会使其保持平衡(非严格平衡条件)，因此红黑树的性能极为稳定，能够保持在O(logN)。

golang的map、python的dict以及c++的unordered_map采用hash实现，c++的map采用红黑树实现，在java1.8的哈希表的实现中采用的是红黑树与哈希结构混合的方式。

不论是上述哪一种实现，都是面试的高频考点，时常被要求手写。本系列前两章就用这两种方式实现最简单的map结构，让你最快速地把握map的本质。在了解最核心原理后，会详解go语言的原生map结构以及其中的众多优化技巧。除此之外，我们会简单剖析下开源库concurrent-map，分析如何实现一个高性能的并发安全的map。

hash表原理

如果让你实现一个结构，能够提供键值对的增删改查，最容易想到的就是使用链表实现。欲插入键值对，只需要将键值对构成一个节点插入链表；给定Key查找Value，只需要从链表头开始

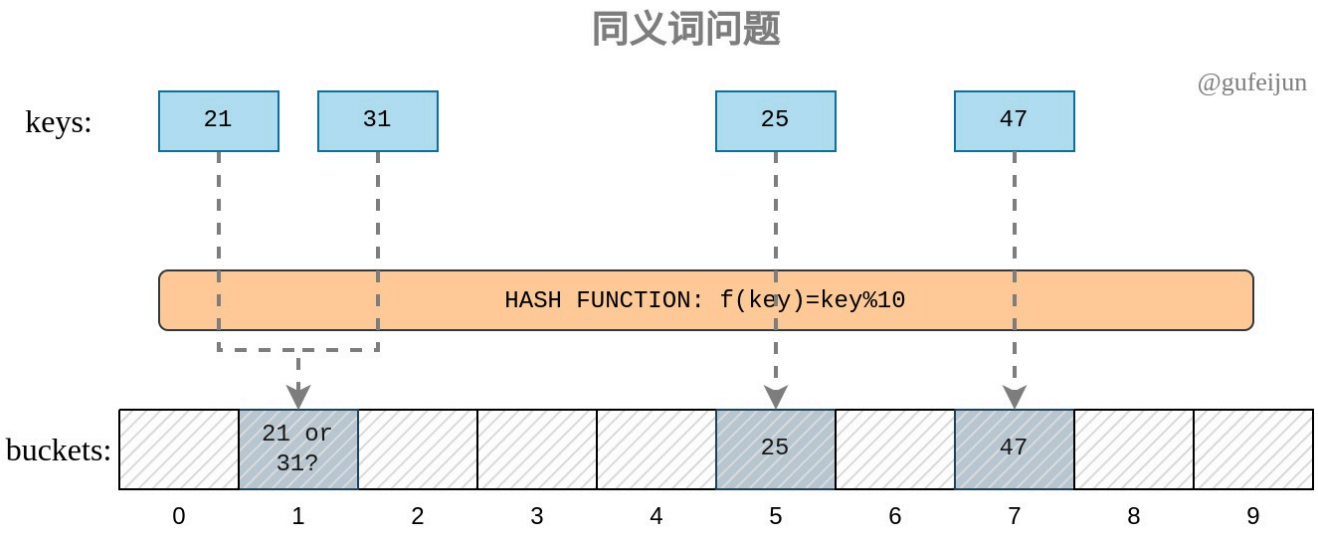
迭代所有节点，比较节点的key即可。

但问题是这样实现查找的效率很低，为O(N)。hash表采取了空间换时间的方式，其核心思想是开辟一个数组空间，数组中每个元素称为桶，我们用这些预先分配的桶存储键值对。

那么问题就是如何组织键值对放入到这些有限桶中。对于hash表来说，都会存在一个哈希函数，输入一个key，通过某种hash(key)函数的计算能够输出一个确切的哈希值，且这个过程是幂等的。给定key就能得到哈希值，进而确定将这个KV(key-value)对存储在哪一个桶中。

举个最简单的例子：我们现在拥有10个桶，现在插入一个key为21的键值对，hash函数为f(key)=key%10，则21得到的hash值为1，我们就将这个键值对存到第2(数组下标从0开始)个桶。当下次再查找21时，我们用同样的哈希函数得到同样的哈希值，立马定位到第2个桶，进而查找即可。这样进行就可以省略掉链表实现中遍历所有节点的过程，将查找效率提升到O(1)。

哈希冲突：桶是预分配且有限的，除此之外不同的key可能通过hash函数得到同样的hash值，如31和21通过上述的hash函数都得到1，两个不同键放入同一桶，这样就会导致**冲突**，这样哈希值相同的Key称为**同义词**。



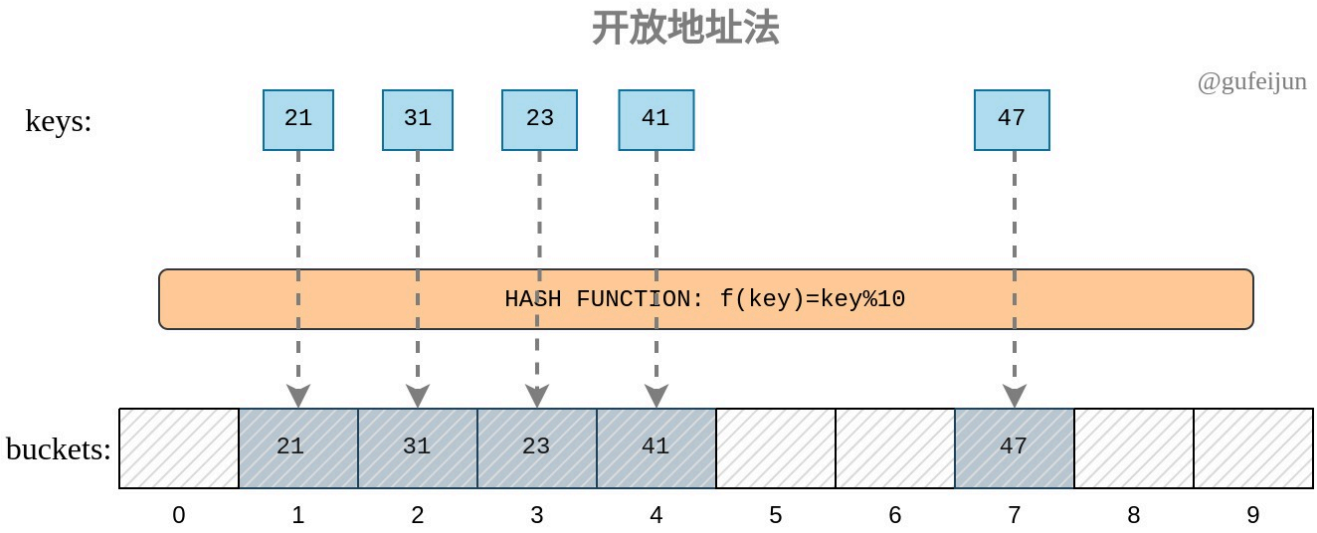
21和31就为同义词，一山不容二虎，那么如何去解决冲突问题呢？①开放地址法。②拉链法。

开放地址法

开发地址法的意思是一个桶并不一定只能存放符合哈希要求的键，如下标为2的桶不一定只能存求余为2的key。

例如，目前要依次插入键21、31、23、41、47。key 21插入到桶1中；在准备插入31时，由于桶1已经被key 21占用，我们可以将31插入到桶1后遇到的第一个空桶即桶2；key 23插入到桶3中；在插入41时，本应存入桶1，但由于桶1、桶2、桶3都被占用，key 41就被迫存入空桶4；key 47存入桶7.

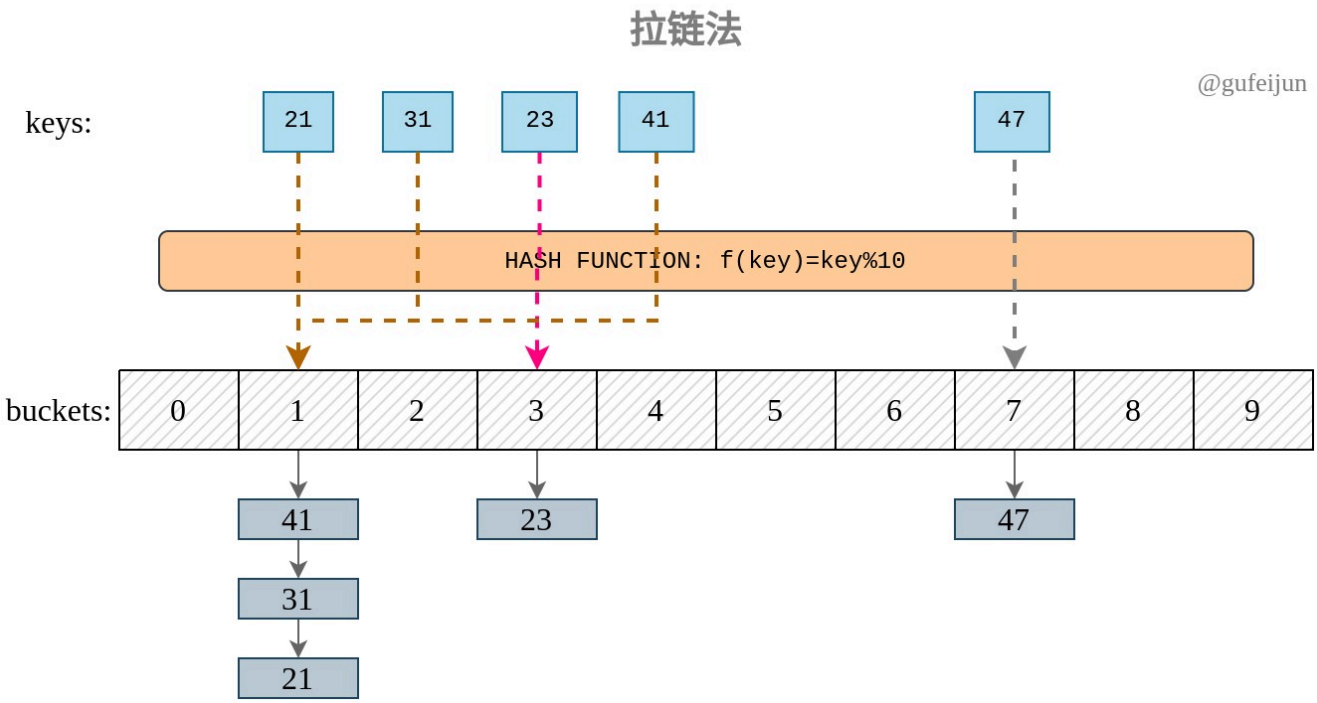
对于查找也同理，给定key 31，我们先查看桶1，判断桶里的key与31是否相同，相同则找到目标值，不同则可能存在同义词，去依次查看桶2、桶3、桶4等后续桶，直至找到空桶或者目标key，找到空桶说明待查找的key并没有存于map中。如图所示：



很明显的是，通过这种方式，一旦map的**负载因子**(键值对个数与桶个数比值)过大，查找需要线性遍历多个桶，性能会退化为O(n)，所以这种实现需要更频繁地对桶进行扩容，保持负载因子在低水平。

拉链法

拉链法是大多数编程语言的选择，采用数组以及链表实现。依旧是预先开辟一定容量的桶(数组)，不过和开放地址法的区别是，每个桶后面跟上一个链表，所有的同义词通过链表中节点形式串联在一起。如上例中key 31、21和41就可以跟在桶1的链表中，查找时通过hash函数定位桶以区分非同义词，遍历桶的链表每个节点以及比较key来区分同义词。



开放地址法存在**堆积**问题，比如key1可能因为同义词占用了key2的位置，导致key2插入时又不得不占用key3的位置，所以开发地址法对负载因子过于敏感。而拉链法通过链表方式解决冲突问题，非同义词之间不会相互影响。

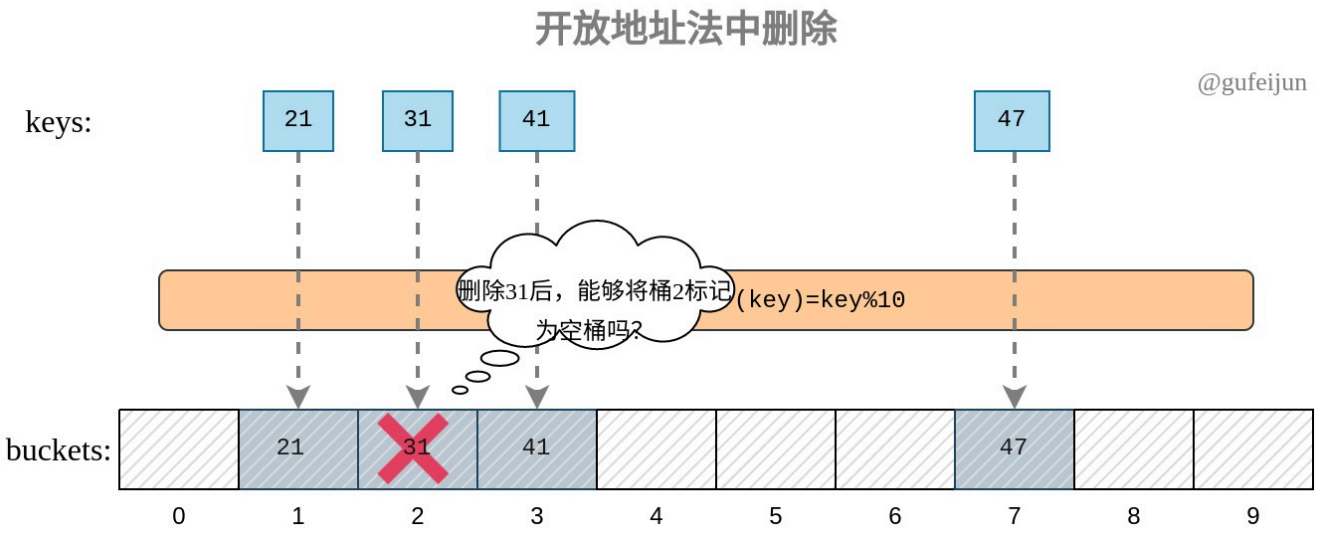
代码实现

本文代码见hashmap。

为了简便起见，我们map实现中键值都为int类型，因此hash函数直接利用求余函数即可。不同key类型只是对应的hash函数不同而已，不是map的核心思想，我们从简。

开放地址法

开发地址法的实现比较简单，但需要有一点注意，在删除操作中，被删除清空的桶不能直接标记为空桶。如上例中21、31、41为同义词，哈希值都为1，则按照开发地址法的原理，则它们分别存储的桶编号为1、2、3。如果在删除31时将桶2置为空，则查找41时，还没迭代到桶3就止步于空桶2，从而返回错误的结果。



我们的解决方案：一个桶根据是否存储键值对分为空(E)状态以及占用(O)状态，除此之外我们引入第三种删除(D)状态，通过Del删除操作的桶将处于此状态。

当执行查找或者删除操作时，我们将D状态桶以O状态处理，不会在D桶就停止向后迭代查询的过程；但当执行插入操作时，可以将此桶当做E状态处理，也即可以向此桶插入数据。

数据结构以及宏定义：

```
const (
        stateEmpty = iota       //空状态
        stateOccupied           //占用状态
        stateDeleted            //删除状态
```

```
        defaultSize = 128       //初始默认桶的个数
)

type pair struct {
        state int               //bucket状态
        key   int               //键
        value int               //值
}

// 每个桶存取一个键值对
type HashMap struct {
        buckets []pair  // 桶
        count int               // 键值对个数
}

func NewHashMap() *HashMap {
        return &HashMap{
                buckets: make([]pair, defaultSize),
        }
}
```

提供一个通用的access方法，这个方法将被Set、Get、Del方法使用：

```
// hash函数采用最简单的取模
func (hm *HashMap) hash(key int) int {
        return key % len(hm.buckets)
}

// inSet设为true代表执行Set操作
// 当执行Set操作时，找到存储key的桶、或者第一个空桶、或者Delete状态的桶，就结束遍历
// 当执行Get、Del操作时，碰到存储key的桶或者第一个空桶就结束遍历
func (hm *HashMap) access(key int, inSet bool) (p *pair) {
        h := hm.hash(key)
        for i := 0; i < len(hm.buckets); i++ {
                bucket := hm.buckets[h]
                if !inSet && bucket.state == stateDeleted ||
                        bucket.state == stateOccupied && bucket.key != key {
                        h = (h + 1) % len(hm.buckets)
                        continue
                }
                p = &hm.buckets[h]
                break
        }
        return
}
```

前面提到，对map的操作，除了要查看哈希指向的桶外，还要因为同义词问题查看后续的一些桶。

对于Get查找以及Del删除这两个查询操作，我们的线性迭代终止于碰到存储了对应key的目标桶或者碰到了空桶，前者代表map中保存了此key，后者表示未保存该key。

对于Set方法，它有两种可能：①map中键已存在，我们将对应桶的value更新。②map中键不存在，我们找到一个空桶或者处于Delete状态的桶进行插入即可。

access方法就是把上述各情况下终止迭代的桶返回，我们再判断桶的state成员即状态，就可以知道该做哪些操作。

Set、Del以及Get方法：

```
func (hm *HashMap) set(key int, value int) {
        p := hm.access(key, true)
    //如果终止迭代的桶为非占用桶，即为空桶或者已被删除的桶，我们需要插入KV
        if p.state != stateOccupied {
                hm.count++
                p.state = stateOccupied
                p.key = key
        }
    //否则，只需要更新value
        p.value = value
}

func (hm *HashMap) Set(key int, value int) {
    //如果负载因子过大，就需要扩容
        if hm.needGrow() {
                hm.grow()
        }
        hm.set(key, value)
}

func (hm *HashMap) Del(key int) {
        p := hm.access(key, false)
    //终止于空桶，说明map并未存取该key
        if p.state == stateEmpty {
                return
        }
        hm.count--
        p.state = stateDeleted
}

func (hm *HashMap) Get(key int) (val int, ok bool) {
        p := hm.access(key, false)
```

```
    //终止于空桶，说明map并未存取该key
        if p.state == stateEmpty {
                return
        }
        return p.value, true
}
```

上面grow方法用于在负载因子过大情况下进行扩容，我们扩容采取桶倍增的方式：

```
// 哈希表扩容
func (hm *HashMap) grow() {
        oldbuckets := hm.buckets
        //桶数量倍增
        hm.buckets = make([]pair, len(oldbuckets)<<1)
        hm.count = 0
        for i := 0; i < len(oldbuckets); i++ {
                bucket := oldbuckets[i]
                if bucket.state == stateOccupied {
            //将旧桶数据插入新桶
                        hm.set(oldbuckets[i].key, oldbuckets[i].value)
                }
        }
}

// 负载因子>0.25时就扩容
func (hm *HashMap) needGrow() bool {
        return hm.count*4 >= len(hm.buckets)
}
```

整体比较简单，理清楚增删改查的过程即可。

拉链法

对于拉链法实现，我们让预先分配内存的桶作为链表的头结点，同义词存在同一个桶后链表中。

欲查询键值对，只需要先通过hash定位到目标桶，然后遍历桶后的所有链表节点即可。欲插入键值对，还需要考虑已经存在键，需要覆盖value的情况。

数据结构定义：

```
const defaultSize = 1024

//存取键值对的链表节点，每个节点存取一个键值对
```

```
type node struct {
        key   int
        value int
        next  *node
}

type bucket node

type HashMap struct {
        buckets []bucket        //桶，每个桶还是链表的头结点，头结点实际不存取数据
        count   int
}

func NewHashMap() *HashMap {
        return &HashMap{
                buckets: make([]bucket, defaultSize),
        }
}
```

基础操作方法：

```
func (m *HashMap) hash(key int) int {
        return key % len(m.buckets)
}

//头插法插入节点
func (m *HashMap) set(key int, value int, hash int) {
        m.count++
        m.buckets[hash].next = &node{
                key:   key,
                value: value,
                next:  m.buckets[hash].next,
        }
}

func (m *HashMap) Set(key int, value int) {
        if m.needGrow() {
                m.grow()
        }
    //先通过哈希值找到对应桶
        h := m.hash(key)
    //再遍历桶后同义词链表，查找key是否存在，如果存在则只需更新value即可
        for n := m.buckets[h].next; n != nil; n = n.next {
                if n.key == key {
                        n.value = value
```

```
                        return
                }
        }
    //否则插入键值对
        m.set(key, value, h)
}

//查询
func (m *HashMap) Get(key int) (value int, ok bool) {
        h := m.hash(key)
    // 定位到桶后，顺序遍历桶后链表
        for n := m.buckets[h].next; n != nil; n = n.next {
                if n.key == key {
                        return n.value, true
                }
        }
        return
}

//删除
func (m *HashMap) Del(key int) {
        h := m.hash(key)
        for n := (*node)(&m.buckets[h]); n.next != nil; n = n.next {
                tmp := n.next
                if tmp.key == key {
                        n.next = tmp.next
                        m.count--
                }
        }
}

//负载因子>=1就扩容
func (m *HashMap) needGrow() bool {
        return m.count >= len(m.buckets)
}

func (m *HashMap) grow() {
        oldbuckets := m.buckets
    //倍增
        m.buckets = make([]bucket, len(m.buckets)<<1)
        m.count = 0
        for i := 0; i < len(oldbuckets); i++ {
                bucket := oldbuckets[i]
                for n := bucket.next; n != nil; n = n.next {
                        m.set(n.key, n.value, m.hash(n.key))
                }
```

```
71              }
72  }
```

逻辑方面比开放地址法更简单。如果负载因子过大，则会让每个桶后的链表过长，因此区分同义词还是需要遍历链表，从而使效率变低。甚至在极端情况，所有key都是同义词，查找时间效率最差为O(n)。

我们这里采取的负载因子上限为1，也就说如果哈希均匀的情况下，每个桶后链表仅存储一个节点，查询的时间开销为O(1)。

我们所写的均为最简实现，但已经把拉链法最核心的思想展现，其他的只是些优化技巧，比如哈希的取模操作转化为位运算、预先分配溢出桶、一个桶存取多个键值对减少节点数以优化内存占用以及gc等，这些我们会在go语言的map源码剖析中详解。

总结

从最基本原理角度出发，抛开各种优化，其实实现一个基本能用的hash表也仅仅只需要100行左右代码。

下一节将以红黑树实现map映射结构，同样是以抓住核心本质且最简单的方式实现，帮助你尽快地打破map的神秘感，有个最直观的认识。我相信理解核心思想后，再去阅读那些实现更为复杂的源码，会更为得心应手。

系列目录