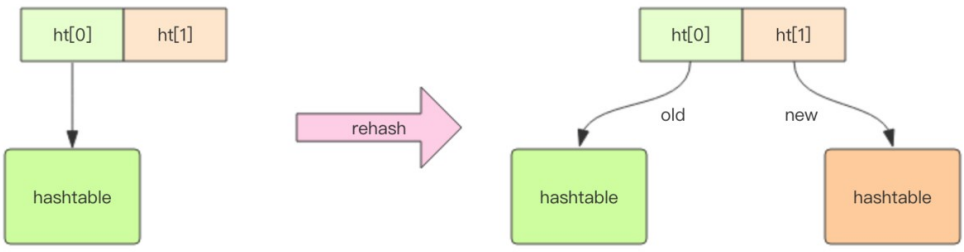
源码 2：极度深寒 —— 探索「字典」内部

dict 是 Redis 服务器中出现最为频繁的复合型数据结构，除了 hash 结构的数据会用到字典外，整个 Redis 数据库的所有 key 和 value 也组成了一个全局字典，还有带过期时间的 key 集合也是一个字典。zset 集合中存储 value 和 score 值的映射关系也是通过 dict 结构实现的。

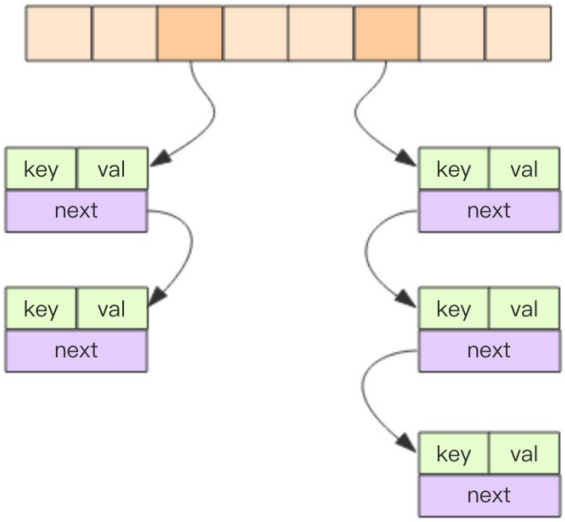
```c
struct RedisDb {
    dict* dict; // all keys  key=>value
    dict* expires; // all expired keys key=>long(timestamp)
    ...
}

struct zset {
    dict *dict; // all values  value=>score
    zskiplist *zsl;
}
```

dict 内部结构



dict 结构内部包含两个 hashtable，通常情况下只有一个 hashtable 是有值的。但是在 dict 扩容缩容时，需要分配新的 hashtable，然后进行渐进式搬迁，这时候两个 hashtable 存储的分别是旧的 hashtable 和新的 hashtable。待搬迁结束后，旧的 hashtable 被删除，新的 hashtable 取而代之。

```c
struct dict {
    ...
    dictht ht[2];
}
```



所以，字典数据结构的精华就落在了 hashtable 结构上了。hashtable 的结构和 Java 的 HashMap 几乎是一样的，都是通过分桶的方式解决 hash 冲突。第一维是数组，第二维是链表。数组中存储的是第二维链表的第一个元素的指针。

```c
struct dictEntry {
    void* key;
    void* val;
    dictEntry* next; // 链接下一个 entry
}
struct dictht {
    dictEntry** table; // 二维
    long size; // 第一维数组的长度
    long used; // hash 表中的元素个数
    ...
}
```

渐进式rehash

大字典的扩容是比较耗时间的，需要重新申请新的数组，然后将旧字典所有链表中的元素重新挂接到新的数组下面，这是一个O(n)级别的操作，作为单线程的

Redis表示很难承受这样耗时的过程。步子迈大了会扯着蛋，所以Redis使用渐进式rehash小步搬迁。虽然慢一点，但是肯定可以搬完。

```c
dictEntry *dictAddRaw(dict *d, void *key, dictEntry **existing)
{
    long index;
    dictEntry *entry;
    dictht *ht;

    // 这里进行小步搬迁
    if (dictIsRehashing(d)) _dictRehashStep(d);

    /* Get the index of the new element, or -1 if
     * the element already exists. */
    if ((index = _dictKeyIndex(d, key, dictHashKey(d,key), existing)) == -1)
        return NULL;

    /* Allocate the memory and store the new entry.
     * Insert the element in top, with the assumption that in a database
     * system it is more likely that recently added entries are accessed
     * more frequently. */
    // 如果字典处于搬迁过程中，要将新的元素挂接到新的数组下面
    ht = dictIsRehashing(d) ? &d->ht[1] : &d->ht[0];
    entry = zmalloc(sizeof(*entry));
    entry->next = ht->table[index];
    ht->table[index] = entry;
    ht->used++;

    /* Set the hash entry fields. */
    dictSetKey(d, entry, key);
    return entry;
}
```

搬迁操作埋伏在当前字典的后续指令中(来自客户端的hset/hdel指令等)，但是有可能客户端闲下来了，没有了后续指令来触发这个搬迁，那么Redis就置之不理了么？当然不会，优雅的Redis怎么可能设计的这样潦草。Redis还会在定时任务中对字典进行主动搬迁。

```
// 服务器定时任务
void databaseCron() {
    ...
    if (server.activerehashing) {
        for (j = 0; j < dbs_per_call; j++) {
            int work_done = incrementallyRehash(rehash_db);
            if (work_done) {
```

```
                    /* If the function did some work, stop here, we'll do
                     * more at the next cron loop. */
                    break;
                } else {
                    /* If this db didn't need rehash, we'll try the next one. */
                    rehash_db++;
                    rehash_db %= server.dbnum;
                }
            }
        }
    }
```

查找过程

插入和删除操作都依赖于查找，先必须把元素找到，才可以进行数据结构的修改操作。hashtable 的元素是在第二维的链表上，所以首先我们得想办法定位出元素在哪个链表上。

```js
func get(key) {
    let index = hash_func(key) % size;
    let entry = table[index];
    while(entry != NULL) {
        if entry.key == target {
            return entry.value;
        }
        entry = entry.next;
    }
}
```

值得注意的是代码中的 `hash_func` ，它会将 key 映射为一个整数，不同的 key 会被映射成分布比较均匀散乱的整数。只有 hash 值均匀了，整个 hashtable 才是平衡的，所有的二维链表的长度就不会差距很远，查找算法的性能也就比较稳定。

hash 函数

hashtable 的性能好不好完全取决于 hash 函数的质量。hash 函数如果可以将 key 打散的比较均匀，那么这个 hash 函数就是个好函数。Redis 的字典默认的 hash 函数是 siphash。siphash 算法即使在输入 key 很小的情况下，也可以产

生随机性特别好的输出，而且它的性能也非常突出。对于 Redis 这样的单线程来说，字典数据结构如此普遍，字典操作也会非常频繁，hash 函数自然也是越快越好。

hash 攻击

如果 hash 函数存在偏向性，黑客就可能利用这种偏向性对服务器进行攻击。存在偏向性的 hash 函数在特定模式下的输入会导致 hash 第二维链表长度极为不均匀，甚至所有的元素都集中到个别链表中，直接导致查找效率急剧下降，从 `O(1)` 退化到 `O(n)` 。有限的服务器计算能力将会被 hashtable 的查找效率彻底拖垮。这就是所谓 hash 攻击。

扩容条件

```c
/* Expand the hash table if needed */
static int _dictExpandIfNeeded(dict *d)
{
    /* Incremental rehashing already in progress. Return. */
    if (dictIsRehashing(d)) return DICT_OK;

    /* If the hash table is empty expand it to the initial size. */
    if (d->ht[0].size == 0) return dictExpand(d, DICT_HT_INITIAL_SIZE);

    /* If we reached the 1:1 ratio, and we are allowed to resize the hash
     * table (global setting) or we should avoid it but the ratio between
     * elements/buckets is over the "safe" threshold, we resize doubling
     * the number of buckets. */
    if (d->ht[0].used >= d->ht[0].size &&
        (dict_can_resize ||
         d->ht[0].used/d->ht[0].size > dict_force_resize_ratio))
    {
        return dictExpand(d, d->ht[0].used*2);
    }
    return DICT_OK;
}
```

正常情况下，当 hash 表中元素的个数等于第一维数组的长度时，就会开始扩容，扩容的新数组是原数组大小的 2 倍。不过如果 Redis 正在做 bgsave，为了减少内存页的过多分离 (Copy On Write)，Redis 尽量不去扩容 (`dict_can_resize`)，但是如果 hash 表已经非常满了，元素的个数已经达到了

第一维数组长度的 5 倍（`dict_force_resize_ratio`），说明 hash 表已经过于拥挤了，这个时候就会强制扩容。

缩容条件

```c
int htNeedsResize(dict *dict) {
    long long size, used;

    size = dictSlots(dict);
    used = dictSize(dict);
    return (size > DICT_HT_INITIAL_SIZE &&
            (used*100/size < HASHTABLE_MIN_FILL));
}
```

当 hash 表因为元素的逐渐删除变得越来越稀疏时，Redis 会对 hash 表进行缩容来减少 hash 表的第一维数组空间占用。缩容的条件是元素个数低于数组长度的 10%。缩容不会考虑 Redis 是否正在做 bgsave。

set 的结构

Redis 里面 set 的结构底层实现也是字典，只不过所有的 value 都是 NULL，其它的特性和字典一模一样。

思考

1. 为什么缩容不用考虑 bgsave?
2. Java 语言和 Python 语言内置的 set 容器是如何实现的?