redis的五大数据类型实现原理

在Redis中，并没有直接使用这些数据结构来实现键值对数据库，而是**基于这些数据结构创建了一个对象系统**，这些对象系统也就是前面说的五大数据类型，每一种数据类型都至少用到了一种数据结构。通过这五种不同类型的对象，Redis可以在执行命令之前，根据对象的类型判断一个对象是否可以执行给定的命令，而且可以针对不同的场景，为对象设置多种不同的数据结构，从而优化对象在不同场景下的使用效率。

数据类型	常用	少量数据	特殊情况	读	写
String	RAW	EMBSTR	INT	O(1)	O(1)
List	LinkedList	ZipList		pop:O(1) lset:O(N)	push:O(1) lindex:O(N)
Set	Hash Table		INTSET(少量整数)	O(1)	O(1)
Hash	Hash Table	ZipList		O(1)	O(1)
Sorted Set	SkipList	ZipList		zscore:O(1) zrank:O(logN)	O(logN)

1、对象的类型与编码

Redis使用前面说的五大数据类型来表示键和值，**每次在Redis数据库中创建一个键值对时，至少会创建两个对象，一个是键对象，一个是值对象**，而Redis中的每个对象都是由 **redisObject** 结构来表示：

```
typedef struct redisObject{
    //类型
    unsigned type:4;
    //编码
    unsigned encoding:4;
```

```
    //指向底层数据结构的指针
    void *ptr;
    //引用计数
    int refcount;
    //记录最后一次被程序访问的时间
    unsigned lru:22;
}robj

```

①、type属性

对象的type属性记录了对象的类型，这个类型就是前面讲的五大数据类型：

对象	对象 type 属性的值	*TYPE* 命令的输出
字符串对象	REDIS_STRING	"string"
列表对象	REDIS_LIST	"list"
哈希对象	REDIS_HASH	"hash"
集合对象	REDIS_SET	"set"
有序集合对象	REDIS_ZSET	"zset"

可以通过如下命令来判断对象类型：

```
    type key
```

```
127.0.0.1:6379> set str1 v1
OK
127.0.0.1:6379> lpush list1 v1 v2 v3
(integer) 3
127.0.0.1:6379> type str1
string
127.0.0.1:6379> type list1
list
127.0.0.1:6379>
```

注意：在Redis中，键总是一个字符串对象，而值可以是字符串、列表、集合等对象，所以我们通常说的键为字符串键，表示的是这个键对应的值为字符串对象，我们说一个键为集合键时，表示的是这个键对应的值为集合对象。

②、encoding 属性和 *prt 指针

对象的 prt 指针指向对象底层的数据结构，而数据结构由 encoding 属性来决定。

编码常量	编码所对应的底层数据结构
REDIS_ENCODING_INT	long 类型的整数
REDIS_ENCODING_EMBSTR	embstr 编码的简单动态字符串
REDIS_ENCODING_RAW	简单动态字符串
REDIS_ENCODING_HT	字典
REDIS_ENCODING_LINKEDLIST	双端链表
REDIS_ENCODING_ZIPLIST	压缩列表
REDIS_ENCODING_INTSET	整数集合
REDIS_ENCODING_SKIPLIST	跳跃表和字典

而每种类型的对象都至少使用了两种不同的编码：

类 型	编 码	对 象
REDIS_STRING	REDIS_ENCODING_INT	使用整数值实现的字符串对象
REDIS_STRING	REDIS_ENCODING_EMBSTR	使用 embstr 编码的简单动态字符串实现的字符串对象
REDIS_STRING	REDIS_ENCODING_RAW	使用简单动态字符串实现的字符串对象
REDIS_LIST	REDIS_ENCODING_ZIPLIST	使用压缩列表实现的列表对象
REDIS_LIST	REDIS_ENCODING_LINKEDLIST	使用双端链表实现的列表对象
REDIS_HASH	REDIS_ENCODING_ZIPLIST	使用压缩列表实现的哈希对象
REDIS_HASH	REDIS_ENCODING_HT	使用字典实现的哈希对象
REDIS_SET	REDIS_ENCODING_INTSET	使用整数集合实现的集合对象
REDIS_SET	REDIS_ENCODING_HT	使用字典实现的集合对象
REDIS_ZSET	REDIS_ENCODING_ZIPLIST	使用压缩列表实现的有序集合对象
REDIS_ZSET	REDIS_ENCODING_SKIPLIST	使用跳跃表和字典实现的有序集合对象

可以通过如下命令查看值对象的编码：

```
OBJECT ENCODING  key
```

比如 string 类型：（可以是 embstr编码的简单字符串或者是 int 整数值实现）

```
127.0.0.1:6379> set k1 str
OK
127.0.0.1:6379> set k2 123
OK
127.0.0.1:6379> OBJECT ENCODING k1
"embstr"
127.0.0.1:6379> OBJECT ENCODING k2
"int"
127.0.0.1:6379>
```

2、字符串对象

字符串是Redis最基本的数据类型，不仅所有key都是字符串类型，其它几种数据类型构成的元素也是字符串。**注意字符串的长度不能超过512M。**

①、编码

字符串对象的编码可以是**int，raw或者embstr。**

1、int 编码：保存的是可以用 long 类型表示的整数值。

2、raw 编码：保存长度大于44字节的字符串（redis3.2版本之前是39字节，之后是44字节）。

3、embstr 编码：保存长度小于44字节的字符串（redis3.2版本之前是39字节，之后是44字节）。

```
127.0.0.1:6379> set k1 1
OK
127.0.0.1:6379> object encoding k1
"int"
127.0.0.1:6379> set k2 hello
OK
127.0.0.1:6379> object encoding k2
"embstr"
127.0.0.1:6379> set k3 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz1234567
OK
127.0.0.1:6379> strlen k3
(integer) 33
127.0.0.1:6379> object encoding k3
"embstr"
127.0.0.1:6379> set k4 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz12345678912345
OK
127.0.0.1:6379> object encoding k4
"embstr"
127.0.0.1:6379> strlen k4
(integer) 40
127.0.0.1:6379> set k5 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz12345678912345678912
OK
127.0.0.1:6379> strlen k5
(integer) 45
127.0.0.1:6379> object encoding k5
"raw"
127.0.0.1:6379>
```

由上可以看出，int 编码是用来保存整数值，raw编码是用来保存长字符串，而embstr是用来保存短字符串。其实 **embstr 编码是专门用来保存短字符串的一种优化编**码，

raw 和 embstr 的区别：

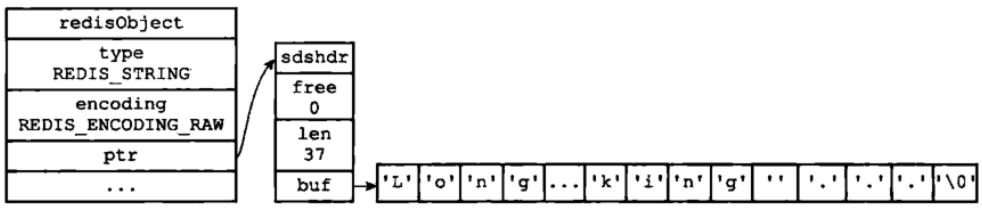


图 8-2　raw 编码的字符串对象

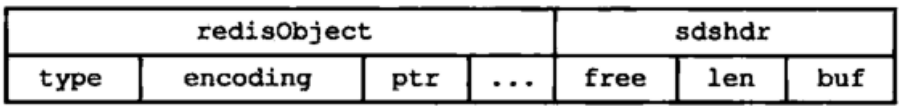


图 8-3　embstr 编码创建的内存块结构

embstr与raw都使用redisObject和sds保存数据，区别在于，embstr的使用只分配一次内存空间（因此redisObject和sds是连续的），而raw需要分配两次内存空间（分别为redisObject和sds分配空间）。**因此与raw相比，embstr的好处在于创建时少分配一次空间，删除时少释放一次空间，以及对象的所有数据连在一起，寻找方便。而embstr的坏处也很明显，如果字符串的长度增加需要重新分配内存时，整个redisObject和sds都需要重新分配空间，因此redis中的embstr实现为只读。**

ps：Redis中对于浮点数类型也是作为字符串保存的，在需要的时候再将其转换成浮点数类型。

②、编码的转换

当 int 编码保存的值不再是整数，或大小超过了long的范围时，自动转化为raw。

对于 embstr 编码，由于 Redis 没有对其编写任何的修改程序（embstr 是只读的），在对embstr对象进行修改时，都会先转化为raw再进行修改，因此，只要是修改embstr对象，修改后的对象一定是raw的，无论是否达到了44个字节。

回到顶部

3、列表对象

list 列表，它是简单的字符串列表，按照插入顺序排序，你可以添加一个元素到列表的头部（左边）或者尾部（右边），它的底层实际上是个链表结构。

①、编码

列表对象的编码可以是 **ziplist(压缩列表) 和 linkedlist(双端链表)**。 关于链表和压缩列表的特性可以看我前面的这篇博客。
比如我们执行以下命令，创建一个 key = ‘numbers’ ，value = ‘1 three 5’ 的三个值的列表。

```
rpush numbers 1 "three" 5
```

ziplist 编码表示如下：

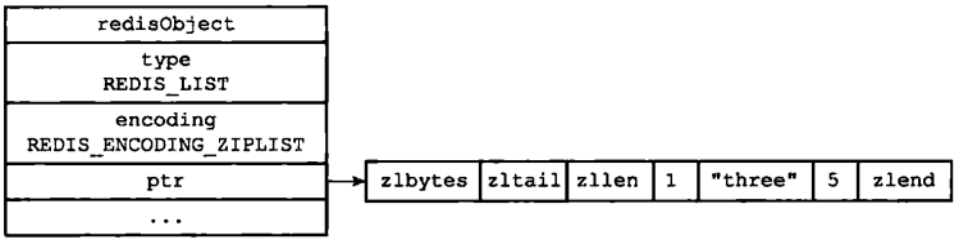


图 8-5 ziplist 编码的 numbers 列表对象

linkedlist表示如下：

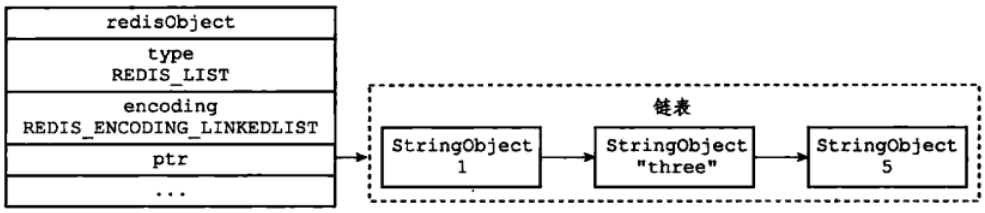


图 8-6 linkedlist 编码的 numbers 列表对象

②、编码转换

当同时满足下面两个条件时，使用ziplist（压缩列表）编码：

1、列表保存元素个数小于512个

2、每个元素长度小于64字节

不能满足这两个条件的时候使用 linkedlist 编码。
上面两个条件可以在redis.conf 配置文件中的 list-max-ziplist-value选项和 list-max-ziplist-entries 选项进行配置。

回到顶部

4、哈希对象

哈希对象的键是一个字符串类型，值是一个键值对集合。

①、编码

哈希对象的编码可以是 ziplist 或者 hashtable。
当使用ziplist，也就是压缩列表作为底层实现时，新增的键值对是保存到压缩列表的表尾。比如执行以下命令：

```
hset profile name "Tom"
hset profile age 25
hset profile career "Programmer"
```

如果使用ziplist，profile 存储如下：

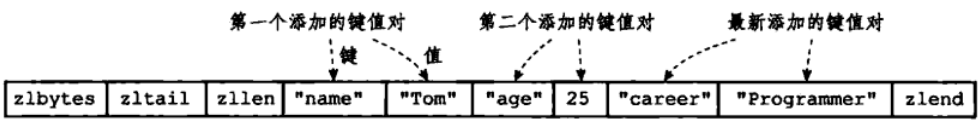


图 8-10 profile 哈希对象的压缩列表底层实现

当使用 hashtable 编码时，上面命令存储如下：

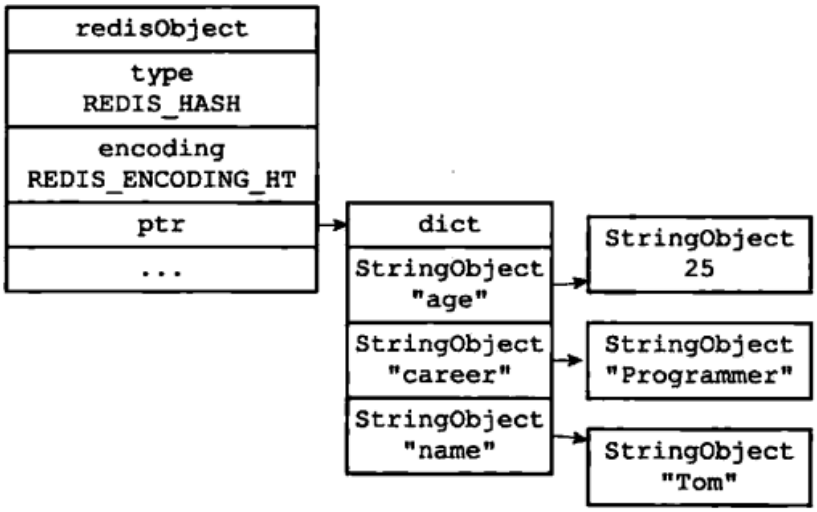


图 8-11　hashtable 编码的 profile 哈希对象

hashtable 编码的哈希表对象底层使用字典数据结构，哈希对象中的每个键值对都使用一个字典键值对。

在前面介绍压缩列表时，我们介绍过**压缩列表是Redis为了节省内存而开发的，是由一系列特殊编码的连续内存块组成的顺序型数据结构**，相对于字典数据结构，压缩列表用于元素个数少、元素长度小的场景。其优势在于集中存储，节省空间。

②、编码转换

和上面列表对象使用 ziplist 编码一样，当同时满足下面两个条件时，使用ziplist（压缩列表）编码：

1、列表保存元素个数小于512个

2、每个元素长度小于64字节

不能满足这两个条件的时候使用 hashtable 编码。第一个条件可以通过配置文件中的 set-max-intset-entries 进行修改。

回到顶部

5、集合对象

集合对象 set 是 string 类型（整数也会转换成string类型进行存储）的无序集合。注意集合和列表的区别：集合中的元素是无序的，因此不能通过索引来操作元素；集合中的元素不能有重复。

①、编码

集合对象的编码可以是 **intset 或者 hashtable。**

intset 编码的集合对象使用整数集合作为底层实现，集合对象包含的所有元素都被保存在整数集合中。

hashtable 编码的集合对象使用 字典作为底层实现，字典的每个键都是一个字符串对象，这里的每个字符串对象就是一个集合中的元素，而字典的值则全部设置为 null。这里可以类比Java集合中HashSet 集合的实现，HashSet 集合是由 HashMap 来实现的，集合中的元素就是 HashMap 的key，而 HashMap 的值都设为 null。

```
SADD numbers 1 3 5
```

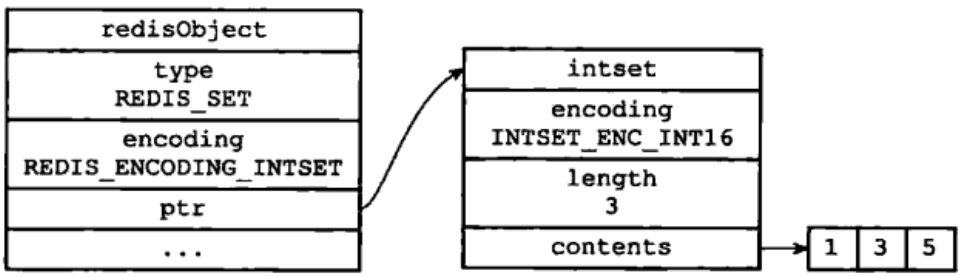


图 8-12　intset 编码的 numbers 集合对象

```
SADD Dfruits "apple" "banana" "cherry"
```

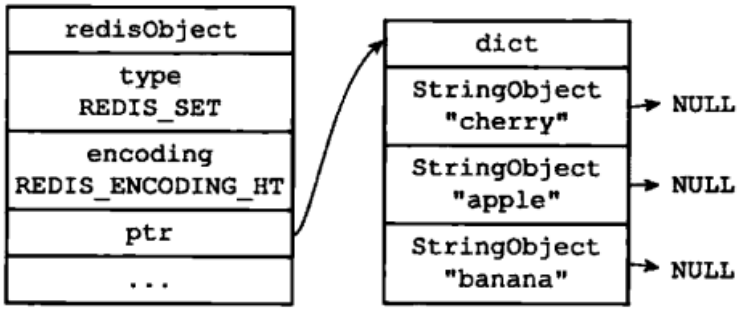


图 8-13　hashtable 编码的 fruits 集合对象

②、编码转换

当集合同时满足以下两个条件时，使用 intset 编码：

1、集合对象中所有元素都是整数

2、集合对象所有元素数量不超过512

不能满足这两个条件的就使用 hashtable 编码。第二个条件可以通过配置文件的 set-max-intset-entries 进行配置。

6、有序集合对象

和上面的集合对象相比，有序集合对象是有序的。与列表使用索引下标作为排序依据不同，有序集合为每个元素设置一个分数（score）作为排序依据。

①、编码

有序集合的编码可以是 ziplist 或者 skiplist。

ziplist 编码的有序集合对象使用压缩列表作为底层实现，每个集合元素使用两个紧挨在一起的压缩列表节点来保存，第一个节点保存元素的成员，第二个节点保存元素的分值。并且压缩列表内的集合元素按分值从小到大的顺序进行排列，小的放置在靠近表头的位置，大的放置在靠近表尾的位置。

```
ZADD price 8.5 apple 5.0 banana 6.0 cherry
```

```
127.0.0.1:6379> ZADD price 8.5 apple 5.0 banana 6.0 cherry
(integer) 3
127.0.0.1:6379> ZRANGE price 0 -1
1) "banana"
2) "cherry"
3) "apple"
127.0.0.1:6379>
```

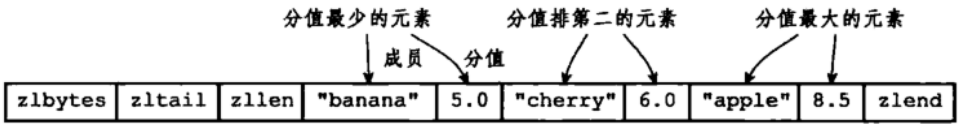


图 8-15　有序集合元素在压缩列表中按分值从小到大排列

skiplist 编码的有序集合对象使用 zet 结构作为底层实现，一个 zset 结构同时包含一个字典和一个跳跃表：

```
typedef struct zset{
    //跳跃表
    zskiplist *zsl;
    //字典
    dict *dice;
} zset;
```

字典的键保存元素的值，字典的值则保存元素的分值；跳跃表节点的 object 属性保存元素的成员，跳跃表节点的 score 属性保存元素的分值。

这两种数据结构会通过指针来共享相同元素的成员和分值，所以不会产生重复成员和分值，造成内存的浪费。

说明：其实有序集合单独使用字典或跳跃表其中一种数据结构都可以实现，但是这里使用两种数据结构组合起来，原因是假如我们单独使用 字典，虽然能以 O(1) 的时间复杂度查找成员的分值，但是因为字典是以无序的方式来保存集合元素，所以每次进行范围操作的时候都要进行排序；假如我们单独使用跳跃表来实现，虽然能执行范围操作，但是查找操作有 O(1)的复杂度变为了O(logN)。因此Redis使用了两种数据结构来共同实现有序集合。

②、编码转换

当有序集合对象同时满足以下两个条件时，对象使用 ziplist 编码：

1、保存的元素数量小于128；

2、保存的所有元素长度都小于64字节。

不能满足上面两个条件的使用 skiplist 编码。以上两个条件也可以通过Redis配置文件zset-max-ziplist-entries 选项和 zset-max-ziplist-value 进行修改。

7、五大数据类型的应用场景

对于string 数据类型，因为string 类型是二进制安全的，可以用来存放图片，视频等内容，另外由于Redis的高性能读写功能，而string类型的value也可以是数字，可以用作计数器（INCR,DECR），比如分布式环境中统计系统的在线人数，秒杀等。

对于 hash 数据类型，value 存放的是键值对，比如可以做单点登录存放用户信息。

对于 list 数据类型，可以实现简单的消息队列，另外可以利用lrange命令，做基于redis的分页功能

对于 set 数据类型，由于底层是字典实现的，查找元素特别快，另外set 数据类型不允许重复，利用这两个特性我们可以进行全局去重，比如在用户注册模块，判断用户名是否注册；另外就是利用交集、并集、差集等操作，可以计算共同喜好，全部的喜好，自己独有的喜好等功能。

对于 zset 数据类型，有序的集合，可以做范围查找，排行榜应用，取 TOP N 操作等。

8、内存回收和内存共享

①、内存回收

前面讲 Redis 的每个对象都是由 redisObject 结构表示：

```
typedef struct redisObject{
    //类型
    unsigned type:4;
    //编码
    unsigned encoding:4;
    //指向底层数据结构的指针
    void *ptr;
    //引用计数
    int refcount;
    //记录最后一次被程序访问的时间
    unsigned lru:22;

}robj
```

其中关键的 type属性，encoding 属性和 ptr 指针都介绍过了，那么 refcount 属性是干什么的呢?

因为 C 语言不具备自动回收内存功能，那么该如何回收内存呢？于是 Redis自己构建了一个内存回收机制，通过在 redisObject 结构中的 refcount 属性实现。这个属性会随着对象的使用状态而不断变化：

1、创建一个新对象，属性 refcount 初始化为1

2、对象被一个新程序使用，属性 refcount 加 1

3、对象不再被一个程序使用，属性 refcount 减 1

4、当对象的引用计数值变为 0 时，对象所占用的内存就会被释放。

在 Redis 中通过如下 API 来实现：

表 8-12　修改对象引用计数的 API

函数	作用
incrRefCount	将对象的引用计数值增一
decrRefCount	将对象的引用计数值减一，当对象的引用计数值等于 0 时，释放对象
resetRefCount	将对象的引用计数值设置为 0，但并不释放对象，这个函数通常在需要重新设置对象的引用计数值时使用

学过Java的应该知道，引用计数的内存回收机制其实是不被Java采用的，因为不能克服循环引用的例子（比如 A 具有 B 的引用，B 具有 C 的引用，C 具有 A 的引用，除此之外，这三个对象没有任何用处了），这时候 A B C 三个对象会一直驻留在内存中，造成内存泄露。那么 Redis 既然采用引用计数的垃圾回收机制，如何解决这个问题呢?

在前面介绍 redis.conf 配置文件时，在 MEMORY MANAGEMENT 下有个 maxmemory-policy 配置:

maxmemory-policy：当内存使用达到最大值时，redis使用的清楚策略。有以下几种可以选择:

1）volatile-lru　利用LRU算法移除设置过过期时间的key (LRU:最近使用 Least Recently Used)
2）allkeys-lru　利用LRU算法移除任何key
3）volatile-random 移除设置过过期时间的随机key
4）allkeys-random　移除随机key
5）volatile-ttl　移除即将过期的key(minor TTL)
6）noeviction　noeviction　不移除任何key，只是返回一个写错误，默认选项

通过这种配置，也可以对内存进行回收。

②、内存共享

refcount 属性除了能实现内存回收以外，还能用于内存共享。

比如通过如下命令 set k1 100,创建一个键为 k1，值为100的字符串对象，接着通过如下命令 set k2 100 ，创建一个键为 k2，值为 100 的字符串对象，那么 Redis 是如何做的呢?

1、将数据库键的值指针指向一个现有值的对象
2、将被共享的值对象引用refcount 加 1

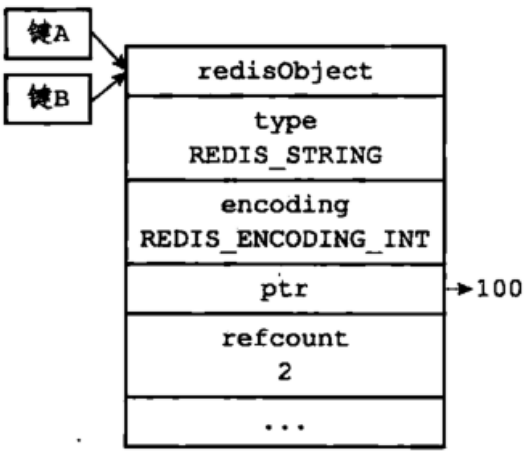


图 8-21　被共享的字符串对象

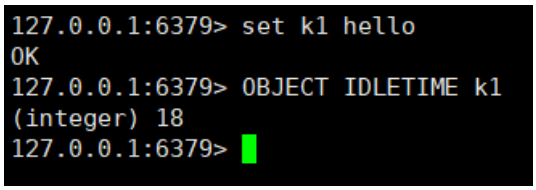
注意：**Redis的共享对象目前只支持整数值的字符串对象。**之所以如此，实际上是对内存和CPU（时间）的平衡：共享对象虽然会降低内存消耗，但是判断两个对象是否相等却需要消耗额外的时间。对于整数值，判断操作复杂度为O(1)；对于普通字符串，判断复杂度为O(n)；而对于哈希、列表、集合和有序集合，判断的复杂度为O(n^2)。

虽然共享对象只能是整数值的字符串对象，但是5种类型都可能使用共享对象（如哈希、列表等的元素可以使用）。

9、对象的空转时长

在 redisObject 结构中，前面介绍了 type、encoding、ptr 和 refcount 属性，最后一个 lru 属性，该属性记录了对象最后一次被命令程序访问的时间。

使用 OBJECT IDLETIME 命令可以打印给定键的空转时长，通过将当前时间减去值对象的 lru 时间计算得到。



lru 属性除了计算空转时长以外，还可以配合前面内存回收配置使用。如果Redis打开了maxmemory选项，且内存回收算法选择的是volatile-lru或allkeys—lru，那么当Redis内存占用超过maxmemory指定的值时，Redis会优先选择空转时间最长的对象进行释放。