

02-数据结构：快速的Redis有哪些慢操作？

你好，我是蒋德钧。

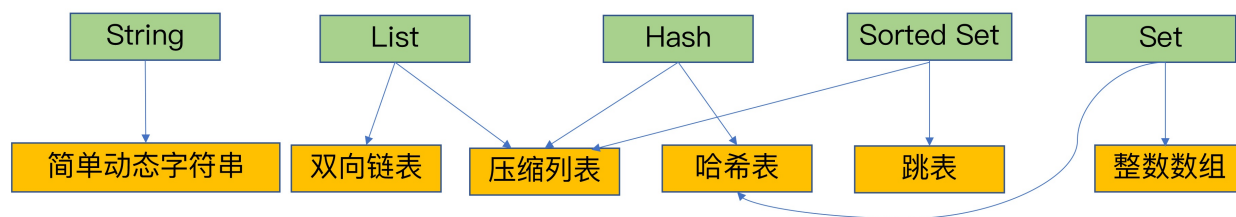
一提到Redis，我们的脑子里马上就会出现一个词：“快。”但是你有没有想过，Redis的快，到底是快在哪里呢？实际上，这里有一个重要的表现：它接收到一个键值对操作后，能以**微秒级别**的速度找到数据，并快速完成操作。

数据库这么多，为啥Redis能有这么突出的表现呢？一方面，这是因为它是内存数据库，所有操作都在内存上完成，内存的访问速度本身就很快。另一方面，这要归功于它的数据结构。这是因为，键值对是按一定的数据结构来组织的，操作键值对最终就是对数据结构进行增删改查操作，所以高效的数据结构是Redis快速处理数据的基础。这节课，我就来和你聊聊数据结构。

说到这儿，你肯定会说：“这个我知道，不就是String（字符串）、List（列表）、Hash（哈希）、Set（集合）和Sorted Set（有序集合）吗？”其实，这些只是Redis键值对中值的数据类型，也就是数据的保存形式。而这里，我们说的数据结构，是要去看看它们的底层实现。

简单来说，底层数据结构一共有6种，分别是简单动态字符串、双向链表、压缩列表、哈希表、跳表和整数数组。它们和数据类型的对应关系如下图所示：

Redis数据类型和底层数据结构的对应关系



可以看到，String类型的底层实现只有一种数据结构，也就是简单动态字符串。而List、Hash、Set和Sorted Set这四种数据类型，都有两种底层实现结构。通常情况下，我们会把这四种类型称为集合类型，它们的特点是**一个键对应了一个集合的数据**。

看到这里，其实有些问题已经值得我们去考虑了：

- 这些数据结构都是值的底层实现，键和值本身之间用什么结构组织？
- 为什么集合类型有那么多底层结构，它们都是怎么组织数据的，都很快吗？
- 什么是简单动态字符串，和常用的字符串是一回事吗？

接下来，我就和你聊聊前两个问题。这样，你不仅可以知道Redis“快”的基本原理，还可以借此理解Redis中有哪些潜在的“慢操作”，最大化Redis的性能优势。而关于简单动态字符串，我会在后面的课程中再和你讨论。

我们先来看看键和值之间是用什么结构组织的。

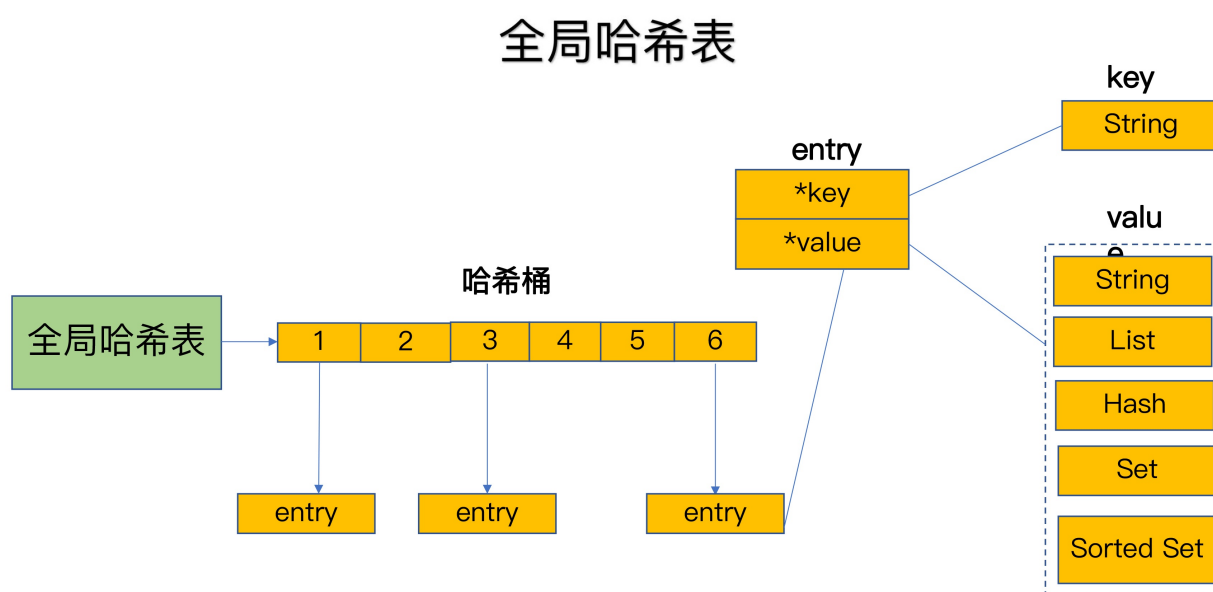
键和值用什么结构组织？

为了实现从键到值的快速访问，Redis使用了一个哈希表来保存所有键值对。

一个哈希表，其实就是一个数组，数组的每个元素称为一个哈希桶。所以，我们常说，一个哈希表是由多个哈希桶组成的，每个哈希桶中保存了键值对数据。

看到这里，你可能会问了：“如果值是集合类型的话，作为数组元素的哈希桶怎么来保存呢？”其实，哈希桶中的元素保存的并不是值本身，而是指向具体值的指针。这也就是说，不管值是String，还是集合类型，哈希桶中的元素都是指向它们的指针。

在下图中，可以看到，哈希桶中的entry元素中保存了*key和*value指针，分别指向了实际的键和值，这样一来，即使值是一个集合，也可以通过*value指针被查找到。



因为这个哈希表保存了所有的键值对，所以，我也把它称为**全局哈希表**。哈希表的最大好处很明显，就是让我们可以用 $O(1)$ 的时间复杂度来快速查找到键值对——我们只需要计算键的哈希值，就可以知道它所对应的哈希桶位置，然后就可以访问相应的entry元素。

你看，这个查找过程主要依赖于哈希计算，和数据量的多少并没有直接关系。也就是说，不管哈希表里有10万个键还是100万个键，我们只需要一次计算就能找到相应的键。

但是，如果你只是了解了哈希表的 $O(1)$ 复杂度和快速查找特性，那么，当你往Redis中写入大量数据后，就可能发现操作有时候会突然变慢了。这其实是因为你忽略了一个潜在的风险点，那就是**哈希表的冲突问题和rehash可能带来的操作阻塞**。

为什么哈希表操作变慢了？

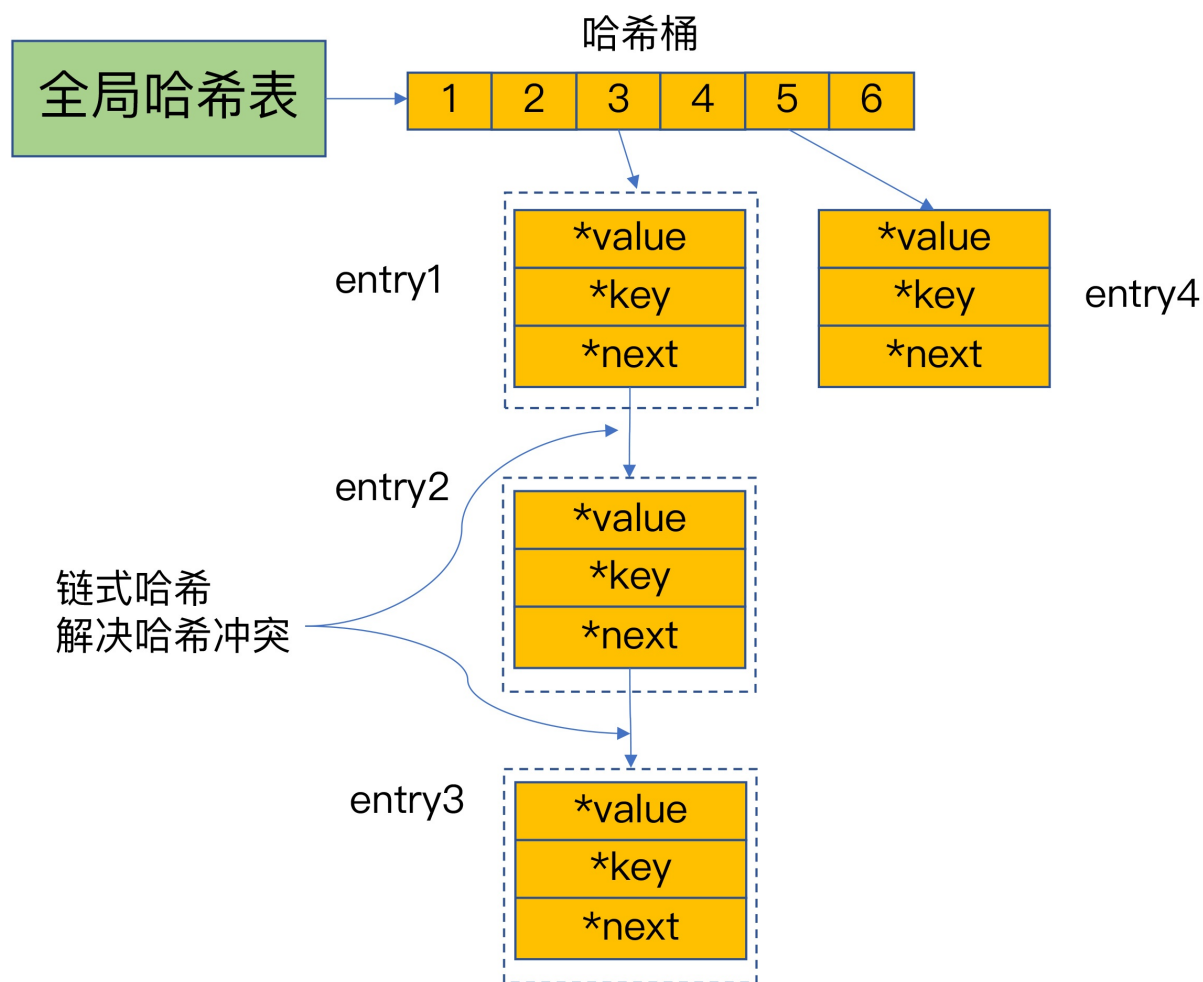
当你往哈希表中写入更多数据时，哈希冲突是不可避免的问题。这里的哈希冲突，也就是指，两个key的哈希值和哈希桶计算对应关系时，正好落在了同一个哈希桶中。

毕竟，哈希桶的个数通常要少于key的数量，这也就是说，难免会有一些key的哈希值对应到了同一个哈希桶中。

Redis解决哈希冲突的方式，就是链式哈希。链式哈希也很容易理解，就是指**同一个哈希桶中的多个元素用一个链表来保存，它们之间依次用指针连接。**

如下图所示：entry1、entry2和entry3都需要保存在哈希桶3中，导致了哈希冲突。此时，entry1元素会通过一个*next指针指向entry2，同样，entry2也会通过*next指针指向entry3。这样一来，即使哈希桶3中的元素有100个，我们也可以通过entry元素中的指针，把它们连起来。这就形成了一个链表，也叫作哈希冲突链。

哈希表的哈希冲突



但是，这里依然存在一个问题，哈希冲突链上的元素只能通过指针逐一查找再操作。如果哈希表里写入的数据越来越多，哈希冲突可能也会越来越多，这就会导致某些哈希冲突链过长，进而导致这个链上的元素查找耗时长，效率降低。对于追求“快”的Redis来说，这是不太能接受的。

所以，Redis会对哈希表做rehash操作。rehash也就是增加现有的哈希桶数量，让逐渐增多的entry元素能在更多的桶之间分散保存，减少单个桶中的元素数量，从而减少单个桶中的冲突。那具体怎么做呢？

其实，为了使rehash操作更高效，Redis默认使用了两个全局哈希表：哈希表1和哈希表2。一开始，当你刚插入数据时，默认使用哈希表1，此时的哈希表2并没有被分配空间。随着数据逐步增多，Redis开始执行rehash，这个过程分为三步：

1. 给哈希表2分配更大的空间，例如是当前哈希表1大小的两倍；
2. 把哈希表1中的数据重新映射并拷贝到哈希表2中；

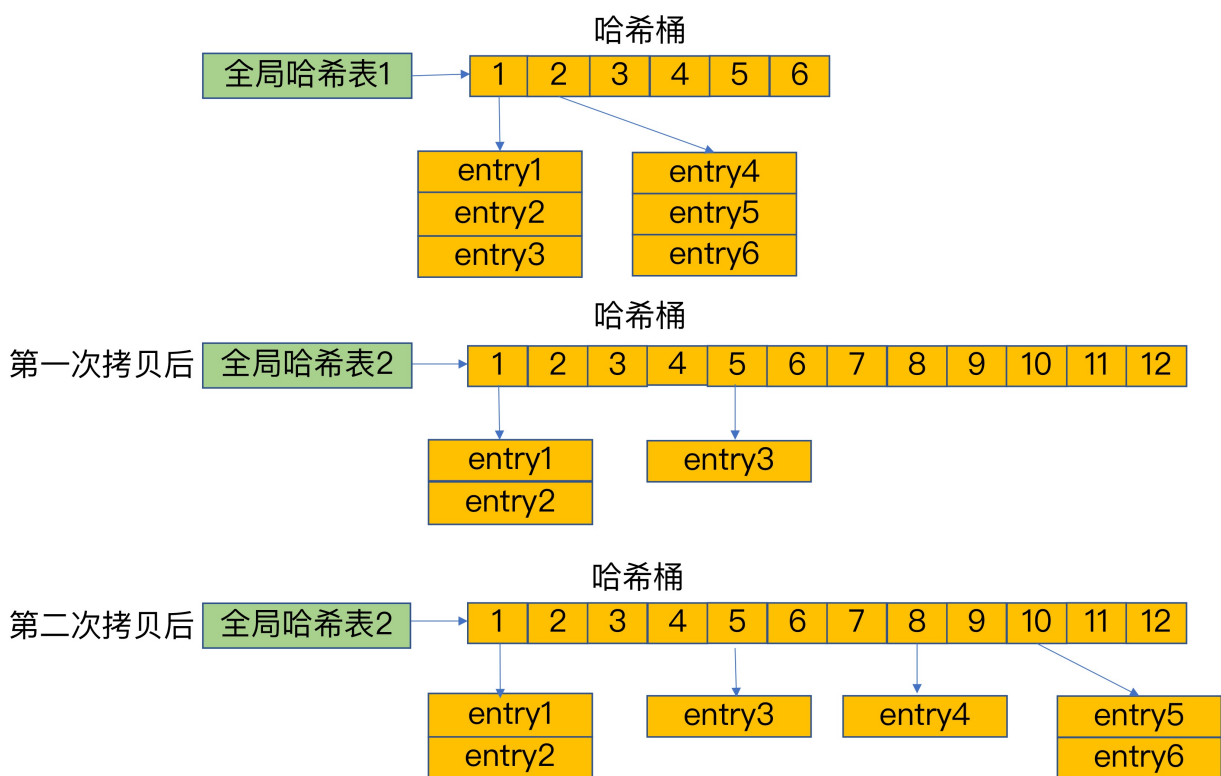
3. 释放哈希表1的空间。

到此，我们就可以从哈希表1切换到哈希表2，用增大的哈希表2保存更多数据，而原来的哈希表1留作下一次rehash扩容备用。

这个过程看似简单，但是第二步涉及大量的数据拷贝，如果一次性把哈希表1中的数据都迁移完，会造成Redis线程阻塞，无法服务其他请求。此时，Redis就无法快速访问数据了。

为了避免这个问题，Redis采用了**渐进式rehash**。

简单来说就是在第二步拷贝数据时，Redis仍然正常处理客户端请求，每处理一个请求时，从哈希表1中的第一个索引位置开始，顺带着将这个索引位置上的所有entries拷贝到哈希表2中；等处理下一个请求时，再顺带拷贝哈希表1中的下一个索引位置的entries。如下图所示：



这样就巧妙地把一次性大量拷贝的开销，分摊到了多次处理请求的过程中，避免了耗时操作，保证了数据的快速访问。

好了，到这里，你应该就能理解，Redis的键和值是怎么通过哈希表组织的了。对于String类型来说，找到哈希桶就能直接增删改查了，所以，哈希表的O(1)操作复杂度也就是它的复杂度了。

但是，对于集合类型来说，即使找到哈希桶了，还要在集合中再进一步操作。接下来，我们来看集合类型的操作效率又是怎样的。

集合数据操作效率

和String类型不同，一个集合类型的值，第一步是通过全局哈希表找到对应的哈希桶位置，第二步是在集合中再增删改查。那么，集合的操作效率和哪些因素相关呢？

首先，与集合的底层数据结构有关。例如，使用哈希表实现的集合，要比使用链表实现的集合访问效率更高。其次，操作效率和这些操作本身的执行特点有关，比如读写一个元素的操作要比读写所有元素的效率高。

接下来，我们就分别聊聊集合类型的底层数据结构和操作复杂度。

有哪些底层数据结构？

刚才，我也和你介绍过，集合类型的底层数据结构主要有5种：整数数组、双向链表、哈希表、压缩列表和跳表。

其中，哈希表的操作特点我们刚刚已经学过了；整数数组和双向链表也很常见，它们的操作特征都是顺序读写，也就是通过数组下标或者链表的指针逐个元素访问，操作复杂度基本是 $O(N)$ ，操作效率比较低；压缩列表和跳表我们平时接触得可能不多，但它们也是Redis重要的数据结构，所以我来重点解释一下。

压缩列表实际上类似于一个数组，数组中的每一个元素都对应保存一个数据。和数组不同的是，压缩列表在表头有三个字段zlbytes、zltail和zllen，分别表示列表长度、列表尾的偏移量和列表中的entry个数；压缩列表在表尾还有一个zlend，表示列表结束。

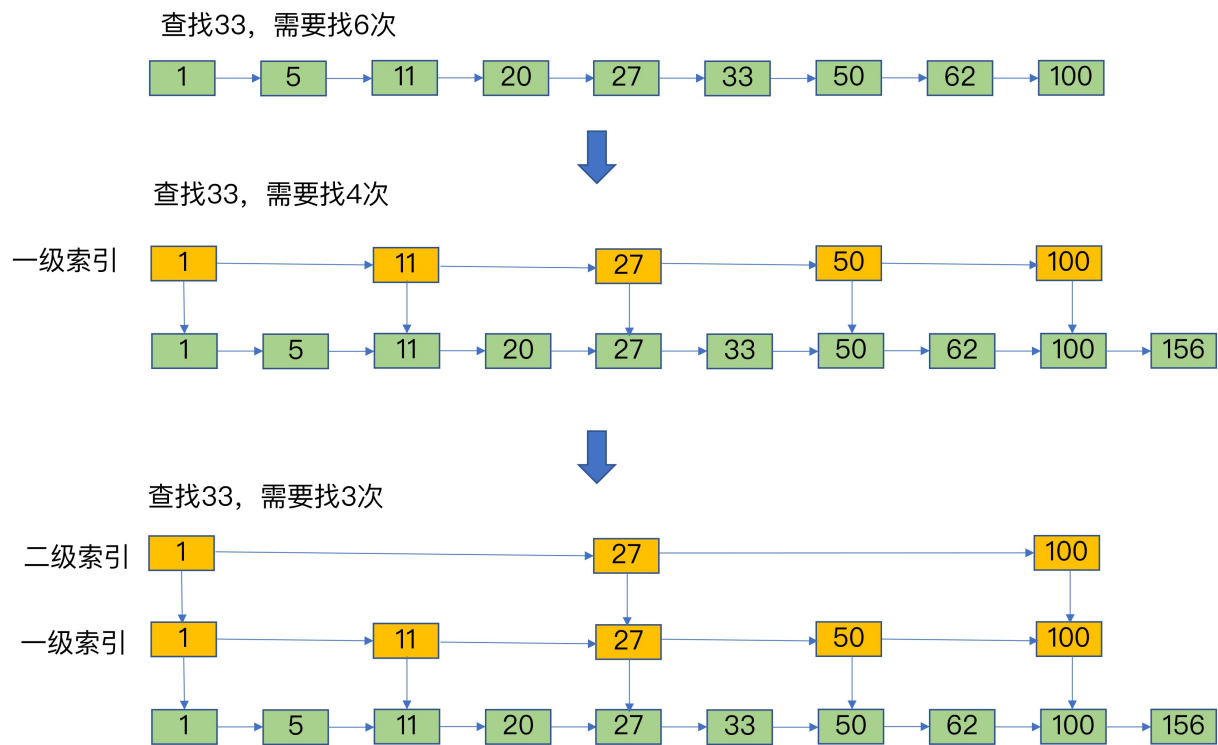
压缩列表的查找

zlbytes	zltail	zllen	entry1	entry2	...	entryN	zlend
---------	--------	-------	--------	--------	-----	--------	-------

在压缩列表中，如果我们要查找定位第一个元素和最后一个元素，可以通过表头三个字段的长度直接定位，复杂度是 $O(1)$ 。而查找其他元素时，就没有这么高效了，只能逐个查找，此时的复杂度就是 $O(N)$ 了。

我们再来看下跳表。

有序链表只能逐一查找元素，导致操作起来非常缓慢，于是就出现了跳表。具体来说，跳表在链表的基础上，**增加了多级索引，通过索引位置的几个跳转，实现数据的快速定位**，如下图所示：



如果我们要在链表中查找33这个元素，只能从头开始遍历链表，查找6次，直到找到33为止。此时，复杂度是 $O(N)$ ，查找效率很低。

为了提高查找速度，我们来增加一级索引：从第一个元素开始，每两个元素选一个出来作为索引。这些索引再通过指针指向原始的链表。例如，从前两个元素中抽取元素1作为一级索引，从第三、四个元素中抽取元素11作为一级索引。此时，我们只需要4次查找就能定位到元素33了。

如果我们还想再快，可以再增加二级索引：从一级索引中，再抽取部分元素作为二级索引。例如，从一级索引中抽取1、27、100作为二级索引，二级索引指向一级索引。这样，我们只需要3次查找，就能定位到元素33了。

可以看到，这个查找过程就是在多级索引上跳来跳去，最后定位到元素。这也正好符合“跳”表的叫法。当数据量很大时，跳表的查找复杂度就是 $O(\log N)$ 。

好了，我们现在可以按照查找的时间复杂度给这些数据结构分下类了：

数据结构的时间复杂度

名称	时间复杂度
哈希表	$O(1)$
跳表	$O(\log N)$
双向链表	$O(N)$
压缩列表	$O(N)$
整数数组	$O(N)$

不同操作的复杂度

集合类型的操作类型很多，有读写单个集合元素的，例如HGET、HSET，也有操作多个元素的，例如SADD，还有对整个集合进行遍历操作的，例如SMEMBERS。这么多操作，它们的复杂度也各不相同。而复杂度的高低又是我们选择集合类型的重要依据。

我总结了一个“四句口诀”，希望能帮助你快速记住集合常见操作的复杂度。这样你在使用过程中，就可以提前规避高复杂度操作了。

- 单元素操作是基础；
- 范围操作非常耗时；
- 统计操作通常高效；
- 例外情况只有几个。

第一，**单元素操作，是指每一种集合类型对单个数据实现的增删改查操作**。例如，Hash类型的HGET、HSET和HDEL，Set类型的SADD、SREM、SRANDMEMBER等。这些操作的复杂度由集合采用的数据结构决定，例如，HGET、HSET和HDEL是对哈希表做操作，所以它们的复杂度都是 $O(1)$ ；Set类型用哈希表作为底层数据结构时，它的SADD、SREM、SRANDMEMBER复杂度也是 $O(1)$ 。

这里，有个地方你需要注意一下，集合类型支持同时对多个元素进行增删改查，例如Hash类型的HMGET和HMSET，Set类型的SADD也支持同时增加多个元素。此时，这些操作的复杂度，就是由单个元素操作复杂度和元素个数决定的。例如，HMSET增加M个元素时，复杂度就从 $O(1)$ 变成 $O(M)$ 了。

第二，**范围操作，是指集合类型中的遍历操作，可以返回集合中的所有数据**，比如Hash类型的HGETALL和Set类型的SMEMBERS，或者返回一个范围内的部分数据，比如List类型的LRANGE和ZSet类型的ZRANGE。**这类操作的复杂度一般是 $O(N)$ ，比较耗时，我们应该尽量避免。**

不过，Redis从2.8版本开始提供了SCAN系列操作（包括HSCAN，SSCAN和ZSCAN），这类操作实现了渐进式遍历，每次只返回有限数量的数据。这样一来，相比于HGETALL、SMEMBERS这类操作来说，就避免了一次性返回所有元素而导致的Redis阻塞。

第三，统计操作，是指**集合类型对集合中所有元素个数的记录**，例如LLEN和SCARD。这类操作复杂度只有 $O(1)$ ，这是因为当集合类型采用压缩列表、双向链表、整数数组这些数据结构时，这些结构中专门记录了元素的个数统计，因此可以高效地完成相关操作。

第四，例外情况，是指某些数据结构的特殊记录，例如**压缩列表和双向链表都会记录表头和表尾的偏移量**。这样一来，对于List类型的LPOP、RPOP、LPUSH、RPUSH这四个操作来说，它们是在列表的头尾增删元素，这就可以通过偏移量直接定位，所以它们的复杂度也只有 $O(1)$ ，可以实现快速操作。

小结

这节课，我们学习了Redis的底层数据结构，这既包括了Redis中用来保存每个键和值的全局哈希表结构，也包括了支持集合类型实现的双向链表、压缩列表、整数数组、哈希表和跳表这五大底层结构。

Redis之所以能快速操作键值对，一方面是因为 $O(1)$ 复杂度的哈希表被广泛使用，包括String、Hash和Set，它们的操作复杂度基本由哈希表决定，另一方面，Sorted Set也采用了 $O(\log N)$ 复杂度的跳表。不过，集合类型的范围操作，因为要遍历底层数据结构，复杂度通常是 $O(N)$ 。这里，我的建议是：**用其他命令来替代**，例如可以用SCAN来代替，避免在Redis内部产生费时的全集合遍历操作。

当然，我们不能忘了复杂度较高的List类型，它的两种底层实现结构：双向链表和压缩列表的操作复杂度都是 $O(N)$ 。因此，我的建议是：**因地制宜地使用List类型**。例如，既然它的POP/PUSH效率很高，那么就将其主要用于FIFO队列场景，而不是作为一个可以随机读写的集合。

Redis数据类型丰富，每个类型的操作繁多，我们通常无法一下子记住所有操作的复杂度。所以，最好的办法就是**掌握原理，以不变应万变**。这里，你可以看到，一旦掌握了数据结构基本原理，你可以从原理上推断不同操作的复杂度，即使这个操作你不一定熟悉。这样一来，你不用死记硬背，也能快速合理地做出选择了。

每课一问

整数数组和压缩列表在查找时间复杂度方面并没有很大的优势，那为什么Redis还会把它们作为底层数据结构呢？

数据结构是了解Redis性能的必修课，如果你身边还有不太清楚数据结构的朋友，欢迎你把今天的内容分享给他/她，期待你在留言区和我交流讨论。

精选留言：

- 樱花落花 2020-08-03 18:15:23

Redis的List底层使用压缩列表本质上是将所有元素紧挨着存储，所以分配的是一块连续的内存空间，虽然数据结构本身没有时间复杂度的优势，但是这样节省空间而且也能避免一些内存碎片；