

15-缓存的使用姿势（三）：缓存穿透了怎么办？

你好，我是唐扬。

我用三节课的时间，带你深入了解了缓存，你应该知道，对于缓存来说，命中率是它的生命线。

在低缓存命中率的系统中，大量查询商品信息的请求会穿透缓存到数据库，因为数据库对于并发的承受能力是比较脆弱的。一旦数据库承受不了用户大量刷新商品页面、定向搜索衣服信息，就会导致查询变慢，导致大量的请求阻塞在数据库查询上，造成应用服务器的连接和线程资源被占满，最终导致你的电商系统崩溃。

一般来说，我们的核心缓存的命中率要保持在99%以上，非核心缓存的命中率也要尽量保证在90%，如果低于这个标准，那么你可能就需要优化缓存的使用方式了。

既然缓存的穿透会带来如此大的影响，那么我们该如何减少它的发生呢？本节课，我就带你全面探知，面对缓存穿透时，我们到底有哪些应对措施。不过在此之前，你需要了解“到底什么是缓存穿透”，只有这样，才能更好地考虑如何设计方案解决它。

什么是缓存穿透

缓存穿透其实是指从缓存中没有查到数据，而不得不从后端系统（比如数据库）中查询的情况。你可以把数据库比喻为手机，它是经受不了太多的划痕和磕碰的，所以你需要给它贴个膜再套个保护壳，就能对手机起到一定的保护作用了。

不过，少量的缓存穿透不可避免，对系统也是没有损害的，主要有几点原因：

- 一方面，互联网系统通常会面临极大数据量的考验，而缓存系统在容量上是有限的，不可能存储系统所有的数据，那么在查询未缓存数据的时候就会发生缓存穿透。
- 另一方面，互联网系统的数据访问模型一般会遵从“80/20原则”。“80/20原则”又称为帕累托法则，是意大利经济学家帕累托提出的一个经济学的理论。它是指在一组事物中，最重要的事物通常只占20%，而剩余的80%的事物确实不重要的。把它应用到数据访问的领域，就是我们会经常访问20%的热点数据，而另外的80%的数据则不会被经常访问。比如你买了很多衣服，很多书，但是其实经常穿的，经常看的，可能也就是其中很小的一部分。

既然缓存的容量有限，并且大部分的访问只会请求20%的热点数据，那么理论上说，我们只需要在有限的缓存空间里存储20%的热点数据就可以有效地保护脆弱的后端系统了，也就可以放弃缓存另外80%的非热点数据了。所以，这种少量的缓存穿透是不可避免的，但是对系统是没有损害的。

那么什么样的缓存穿透对系统有害呢？答案是大量的穿透请求超过了后端系统的承受范围，造成了后端系统的崩溃。如果把少量的请求比作毛毛细雨，那么一旦变成倾盆大雨，引发洪水，冲倒房屋，肯定就不行了。

产生这种大量穿透请求的场景有很多，接下来，我就带你解析这几种场景以及相应的解决方案。

缓存穿透的解决方案

先来考虑这样一种场景：在你的电商系统的用户表中，我们需要通过用户ID查询用户的信息，缓存的读写策略采用Cache Aside策略。

那么，如果要读取一个用户表中未注册的用户，会发生什么情况呢？按照这个策略，我们会先读缓存，再穿透读数据库。由于用户并不存在，所以缓存和数据库中都没有查询到数据，因此也就不会向缓存中回种数据（也就是向缓存中设置值的意思），这样当再次请求这个用户数据的时候还是会再次穿透到数据库。在这种场景下，缓存并不能有效地阻挡请求穿透到数据库上，它的作用就微乎其微了。

那如何解决缓存穿透呢？一般来说我们会有两种解决方案：**回种空值以及使用布隆过滤器。**

我们先来看看第一种方案。

回种空值

回顾上面提到的场景，你会发现最大的问题在于数据库中并不存在用户的数据，这就造成无论查询多少次，数据库中永远都不会存在这个用户的数据，穿透永远都会发生。

类似的场景还有一些：比如由于代码的bug导致查询数据库的时候抛出了异常，这样可以认为从数据库查询出来的数据为空，同样不会回种缓存。

那么，当我们从数据库中查询到空值或者发生异常时，我们可以向缓存中回种一个空值。但是因为空值并不是准确的业务数据，并且会占用缓存的空间，所以我们会给这个空值加一个比较短的过期时间，让空值在短时间之内能够快速过期淘汰。**下面是这个流程的伪代码：**

```
Object nullValue = new Object();
try {
    Object valueFromDB = getFromDB(uid); //从数据库中查询数据
    if (valueFromDB == null) {
        cache.set(uid, nullValue, 10);    //如果从数据库中查询到空值，就把空值写入缓存，设置较短的超时时间
    } else {
        cache.set(uid, valueFromDB, 1000);
    }
} catch (Exception e) {
    cache.set(uid, nullValue, 10);
}
```

回种空值虽然能够阻挡大量穿透的请求，但如果有大量获取未注册用户信息的请求，缓存内就会有大量的空值缓存，也就会浪费缓存的存储空间，如果缓存空间被占满了，还会剔除掉一些已经被缓存的用户信息反而会造成缓存命中率的下降。

所以这个方案，我建议你在使用的时候应该评估一下缓存容量是否能够支撑。如果需要大量的缓存节点来支持，那么就无法通过通过回种空值的方式来解决，这时你可以考虑使用布隆过滤器。

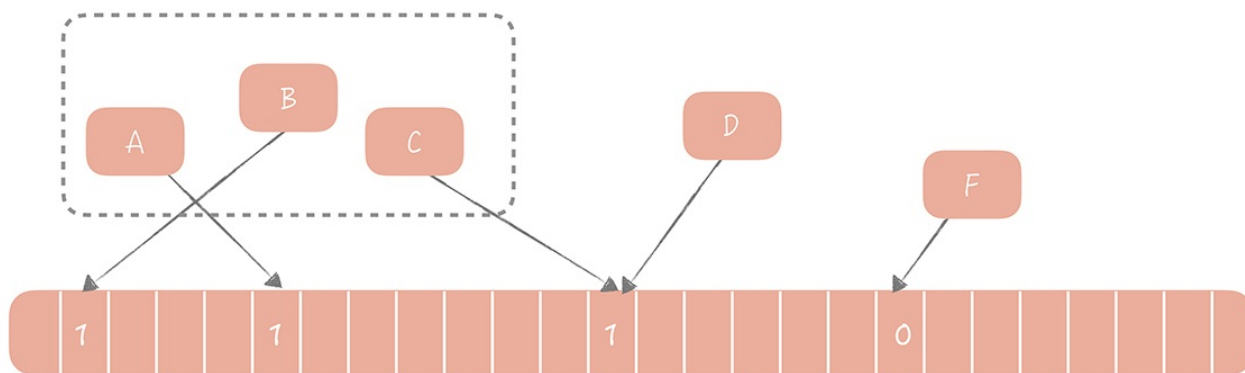
使用布隆过滤器

1970年布隆提出了一种布隆过滤器的算法，用来判断一个元素是否在一个集合中。这种算法由一个二进制数组和一个Hash算法组成。**它的基本思路如下：**

我们把集合中的每一个值按照提供的Hash算法算出对应的Hash值，然后将Hash值对数组长度取模后得到需要计入数组的索引值，并且将数组这个位置的值从0改成1。在判断一个元素是否存在于这个集合中时，你只需要将这个元素按照相同的算法计算出索引值，如果这个位置的值为1就认为这个元素在集合中，否则则认

为不在集合中。

下图是布隆过滤器示意图，我来带你分析一下图内的信息。



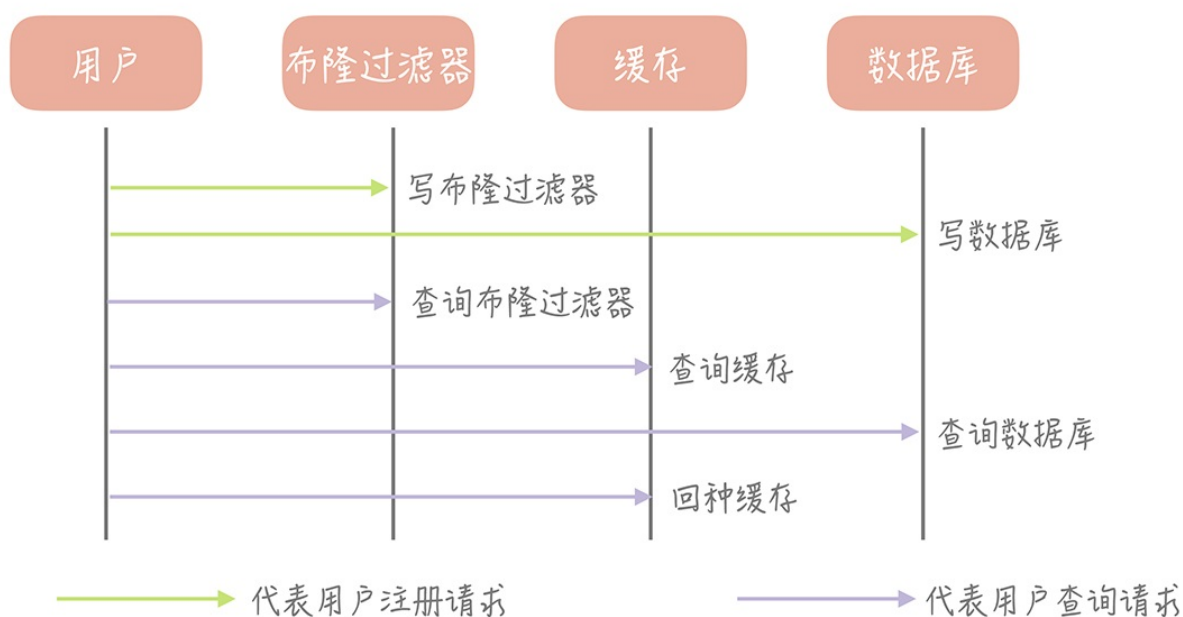
布隆过滤器示意图

A、B、C 等元素组成了一个集合，元素 D 计算出的 Hash 值所对应的的数组中值是 1，所以可以认为 D 也在集合中。而 F 在数组中的值是 0，所以 F 不在数组中。

那么我们如何使用布隆过滤器来解决缓存穿透的问题呢？

还是以存储用户信息的表为例进行讲解。首先，我们初始化一个很大的数组，比方说长度为 20 亿的数组，接下来我们选择一个 Hash 算法，然后我们将目前现有的所有用户的 ID 计算出 Hash 值并且映射到这个大数组中，映射位置的值设置为 1，其它值设置为 0。

新注册的用户除了需要写入到数据库中之外，它也需要依照同样的算法更新布隆过滤器的数组中，相应位置的值。那么当我们需要查询某一个用户的信息时，我们首先查询这个 ID 在布隆过滤器中是否存在，如果不存在就直接返回空值，而不需要继续查询数据库和缓存，这样就可以极大地减少异常查询带来的缓存穿透。



用户查询场景下使用布隆过滤器示意图

布隆过滤器拥有极高的性能，无论是写入操作还是读取操作，时间复杂度都是 $O(1)$ ，是常量值。在空间上，相对于其他数据结构它也有很大的优势，比如，20 亿的数组需要 $2000000000/8/1024/1024 = 238M$ 的空

间，而如果使用数组来存储，假设每个用户ID占用4个字节的空间，那么存储20亿用户需要 $2000000000 * 4 / 1024 / 1024 = 7600M$ 的空间，是布隆过滤器的32倍。

不过，任何事物都有两面性，布隆过滤器也不例外，**它主要有两个缺陷：**

- 1.它在判断元素是否在集合中时是有一定错误几率的，比如它会把不是集合中的元素判断为处在集合中；
- 2.不支持删除元素。

关于第一个缺陷，主要是Hash算法的问题。因为布隆过滤器是由一个二进制数组和一个Hash算法组成的，Hash算法存在着一定的碰撞几率。Hash碰撞的含义是不同的输入值经过Hash运算后得到了相同的Hash结果。

本来，Hash的含义是不同的输入，依据不同的算法映射成独一无二的固定长度的值，也就是我输入字符串“1”，根据CRC32算法，值是2212294583。但是现实中Hash算法的输入值是无限的，输出值的值空间却是固定的，比如16位的Hash值的值空间是65535，那么它的碰撞几率就是 $1/65535$ ，即如果输入值的个数超过65535就一定会发生碰撞。

那么你可能会问为什么不映射成更长的Hash值呢？

因为更长的Hash值会带来更高的存储成本和计算成本。即使使用32位的Hash算法，它的值空间长度是2的32次幂减一，约等于42亿，用来映射20亿的用户数据，碰撞几率依然有接近50%。

Hash的碰撞就造成了两个用户ID，A和B会计算出相同的Hash值，那么如果A是注册的用户，它的Hash值对应的数组中的值是1，那么B即使不是注册用户，它在数组中的位置和A是相同的，对应的值也是1，**这就产生了误判。**

布隆过滤器的误判有一个特点，就是它只会出现“false positive”的情况。这是什么意思呢？当布隆过滤器判断元素在集合中时，这个元素可能不在集合中。但是一旦布隆过滤器判断这个元素不在集合中时，它一定不在集合中。**这一点非常适合解决缓存穿透的问题。**为什么呢？

你想，如果布隆过滤器会将集合中的元素判定为不在集合中，那么我们就不能确定，被布隆过滤器判定为不在集合中的元素，是不是在集合中。假设在刚才的场景中，如果有大量查询未注册的用户信息的请求存在，那么这些请求到达布隆过滤器之后，即使布隆过滤器判断为不是注册用户，那么我们也不能确定它是不是真的不是注册用户，那么就还是需要去数据库和缓存中查询，这就使布隆过滤器失去了价值。

所以你看，布隆过滤器虽然存在误判的情况，但是还是会减少缓存穿透的情况发生，只是我们需要尽量减少误判的几率，这样布隆过滤器的判断正确的几率更高，对缓存的穿透也更少。**一个解决方案是：**

使用多个Hash算法为元素计算出多个Hash值，只有所有Hash值对应的数组中的值都为1时，才会认为这个元素在集合中。

布隆过滤器不支持删除元素的缺陷也和Hash碰撞有关。给你举一个例子，假如两个元素A和B都是集合中的元素，它们有相同的Hash值，它们就会映射到数组的同一个位置。这时我们删除了A，数组中对应位置的值也从1变成0，那么在判断B的时候发现值是0，也会判断B是不在集合中的元素，就会得到错误的结论。

那么我是怎么解决这个问题呢？我会让数组中不再只有0和1两个值，而是存储一个计数。比如如果A和B同时命中了一个数组的索引，那么这个位置的值就是2，如果A被删除了就把这个值从2改为1。这个方案中的数组不再存储bit位，而是存储数值，也就会增加空间的消耗。**所以，你要依据业务场景来选择是否能够使用布隆过滤器**，比如像是注册用户的场景下，因为用户删除的情况基本不存在，所以还是可以使用布隆过滤器来解决缓存穿透的问题的。

讲了这么多，关于布隆过滤器的使用上，我也给你几个建议：

- 1.选择多个Hash函数计算多个Hash值，这样可以减少误判的几率；
- 2.布隆过滤器会消耗一定的内存空间，所以在使用时需要评估你的业务场景下需要多大的内存，存储的成本是否可以接受。

总的来说，**回种空值和布隆过滤器**是解决缓存穿透问题的两种最主要的解决方案，但是它们也有各自的适用场景，并不能解决所有问题。比方说当有一个极热点的缓存项，它一旦失效会有大量请求穿透到数据库，这会对数据库造成瞬时极大的压力，我们把这个场景叫做“dog-pile effect”（狗桩效应），

这是典型的缓存并发穿透的问题，**那么，我们如何解决这个问题呢？**解决狗桩效应的思路是尽量地减少缓存穿透后的并发，方案也比较简单：

- 1.在代码中，控制在某一个热点缓存项失效之后启动一个后台线程，穿透到数据库，将数据加载到缓存中，在缓存未加载之前，所有访问这个缓存的请求都不再穿透而直接返回。
- 2.通过在Memcached或者Redis中设置分布式锁，只有获取到锁的请求才能够穿透到数据库。

分布式锁的方式也比较简单，比方说ID为1的用户是一个热点用户，当他的用户信息缓存失效后，我们需要从数据库中重新加载数据时，先向Memcached中写入一个Key为"lock.1"的缓存项，然后去数据库里面加载数据，当数据加载完成后再把这个Key删掉。这时，如果另外一个线程也要请求这个用户的数据，它发现缓存中有Key为“lock.1”的缓存，就认为目前已经有线程在加载数据库中的值到缓存中了，它就可以重新去缓存中查询数据，不再穿透数据库了。

课程小结

本节课，我带你了解了一些解决缓存穿透的方案，你可以在发现自己的缓存系统命中率下降时，从中得到一些借鉴的思路。我想让你明确的重点是：

- 1.回种空值是一种最常见的解决思路，实现起来也最简单，如果评估空值缓存占据的缓存空间可以接受，那么可以优先使用这种方案；
- 2.布隆过滤器会引入一个新的组件，也会引入一些开发上的复杂度和运维上的成本。所以只有在存在海量查询数据库中，不存在数据的请求时才会使用，在使用时也要关注布隆过滤器对内存空间的消耗；
- 3.对于极热点缓存数据穿透造成的“狗桩效应”，可以通过设置分布式锁或者后台线程定时加载的方式来解决。

除此之外，你还需要了解的是，数据库是一个脆弱的资源，它无论是在扩展性、性能还是承担并发的能力上，相比缓存都处于绝对的劣势，所以我们解决缓存穿透问题的**核心目标在于减少对于数据库的并发请求**。

了解了这个核心的思想，也许你还会在日常工作中找到其他更好的解决缓存穿透问题的方案。

一课一思

在你的日常工作中还会有哪些解决缓存穿透的方案呢？欢迎在留言区和我互动讨论。

最后，感谢你的阅读，如果这篇文章让你有所收获，欢迎将它分享给更多的朋友。



高并发系统设计 40 问

攻克高并发系统演进中的业务难点

唐扬
美图公司技术专家



新版升级：点击「 请朋友读」，20位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

精选留言：

- 约书亚 2019-10-21 21:03:02

bloom filter这个用法会在各种文章教程中提出，但我一直有个疑问想请教一下：基于redis这种存储的bloom filter有没有成熟的方案？因为我觉得毕竟redis不是一种完全可靠的存储，一旦crash理论上有可能丢数据，在用户的那个案例中，一旦应该出现在bloom filter中的数据丢失了，就意味着永远也查不出这个用户来了。那是否我们还应该启动一个监控进程，一旦发现redis crash了，要重新构建bloom filter呢？

回到思考题，我现在觉得文章中的三个方案都只能解决部分场景的问题，有时候需要配合使用。除此之外，合理的数据库连接池大小以及服务限流也能起到最后防线的作用吧？ [2赞]

作者回复2019-10-22 07:40:37

bloom filter需要自研，可以基于redis持久化存储到硬盘上

连接池应该解决不了问题，因为链接不是无限的；限流是有损的

- 公号-代码荣耀 2019-10-21 09:32:30

很实用，很赞 [1赞]

作者回复2019-10-21 10:55:38

谢谢~

- QQ怪 2019-10-21 19:46:33

老师如何来监控缓存的命中率。 [1赞]

作者回复2019-10-22 07:41:47

一般缓存会有cache miss和cache hit的统计信息，也可以自己打印日志统计

- 小喵喵 2019-10-21 15:24:18

1.这两节都有提到分布式锁，请问下分布式锁和一般锁的有什么区别呢？
2.缓存适合存放什么样子的数据呢？还是数据库里面的所有数据都可以放入缓存呢？

谢谢 [1赞]

作者回复2019-10-22 07:45:37

1. 一般的锁是进程中的锁，可以同步一个进程中的多个线程；分布式锁可以同步多个进程
2. 缓存适合放经常访问的热数据，不能放全量数据，而且也放不下

- longslee 2019-10-21 21:25:53

打卡。老师你好，请问文中介绍布隆过滤器，提到“使用多个 Hash 算法为元素计算出多个 Hash 值”，这句话怎样理解呢？如果同一个key采用多个Hash算法得出得Hash值基本不一样，那数组下标也不一样，这同一个key对应好几个下标，那跟别的key有大量冲突呀，这时该怎么判断呢。

作者回复2019-10-22 07:38:59

比如有三个算法算出三个值，那么必须三个值都一致才算是集合中，只有两个值一致不算

- 约书亚 2019-10-21 21:05:12

另外，之前研究bloom filter时发现了一种Cuckoo Filter，有更好的表现且支持删除比Counted Bloom Filter更优。但其实现代码还未经过时间考验，也许未来能取代bloom filter

- 吃饭饭 2019-10-21 15:31:13

这种方式也适合缓存击穿吗？

- 良记 2019-10-21 11:13:24

最后这个分布式锁并不是十分理解，如果在数据还没有被缓存到Redis的时候，其他请求查询到了“lock.1”，那么重新取数的时候是等待新数据缓存好了还是说直接拿到空值？

作者回复2019-10-21 12:29:36

拿到空值

- 飞翔 2019-10-21 10:46:17

如果布隆过滤器会将集合中的元素判定为不在集合中，那么我们就不能就不确定，被布隆过滤器判定为不在集合中的元素，是不是在集合中。这句话是不是写反了，应该是判定为在集合中，就不能确定到底在不在集合中，因为有hash碰撞的问题

作者回复2019-10-21 10:55:19

是的，是集合中的元素不一定在集合中。

我的这句应该是一个假设，表示，如果布隆过滤器可以把不是集合中的元素判定为在集合中，也就是false negative，那么就不能减少缓存穿透了。正因为布隆过滤器是false positive，所以才可以减少缓存的穿透

- 饭团 2019-10-21 09:58:15

学习了！

- Keep-Moving 2019-10-21 09:55:48

缓存穿透的解决方案

- * 回种空值
- * 布隆过滤器

布隆过滤器的缺陷及解决方案

1. 在判断元素是否在集合中时有一定的出错几率

* 解决方案：使用多个Hash算法计算出多个hash值，只有多个hash值对应的数组中的值都为1时，才认为元素在储存中

2. 不支持删除元素

* 解决方案：数组中不再只是0和1，而是一个计数，比如如果元素A和B同时命中了一个数组索引，那么这个位置的值就为2，但这种方式会增加空间的消耗

作者回复2019-10-21 10:55:33



● Dovelol 2019-10-21 08:55:48

老师好，想问一下，关于热点缓存失效后有大量并发请求穿透到数据库去查询，这种如果用分布式锁，没有拿到锁的请求直接返回或者在查缓存都可能得到错误或者无效的结果，是不是应该等待拿到锁的查询到数据写入缓存后在去查呢？？这样有大量请求阻塞，会不会对系统造成压力。还有就是对于所有用户都读取同一份的缓存，比如排行榜，可以用定时任务在缓存失效前去更新缓存，这种方案怎么样呢？

作者回复2019-10-21 12:29:15

1. 等待的话，它已经得到的资源不会释放，也会阻塞
2. 排行榜的数据可以使用定时任务来更新的

● 黎 2019-10-21 08:32:04

有点吃力了