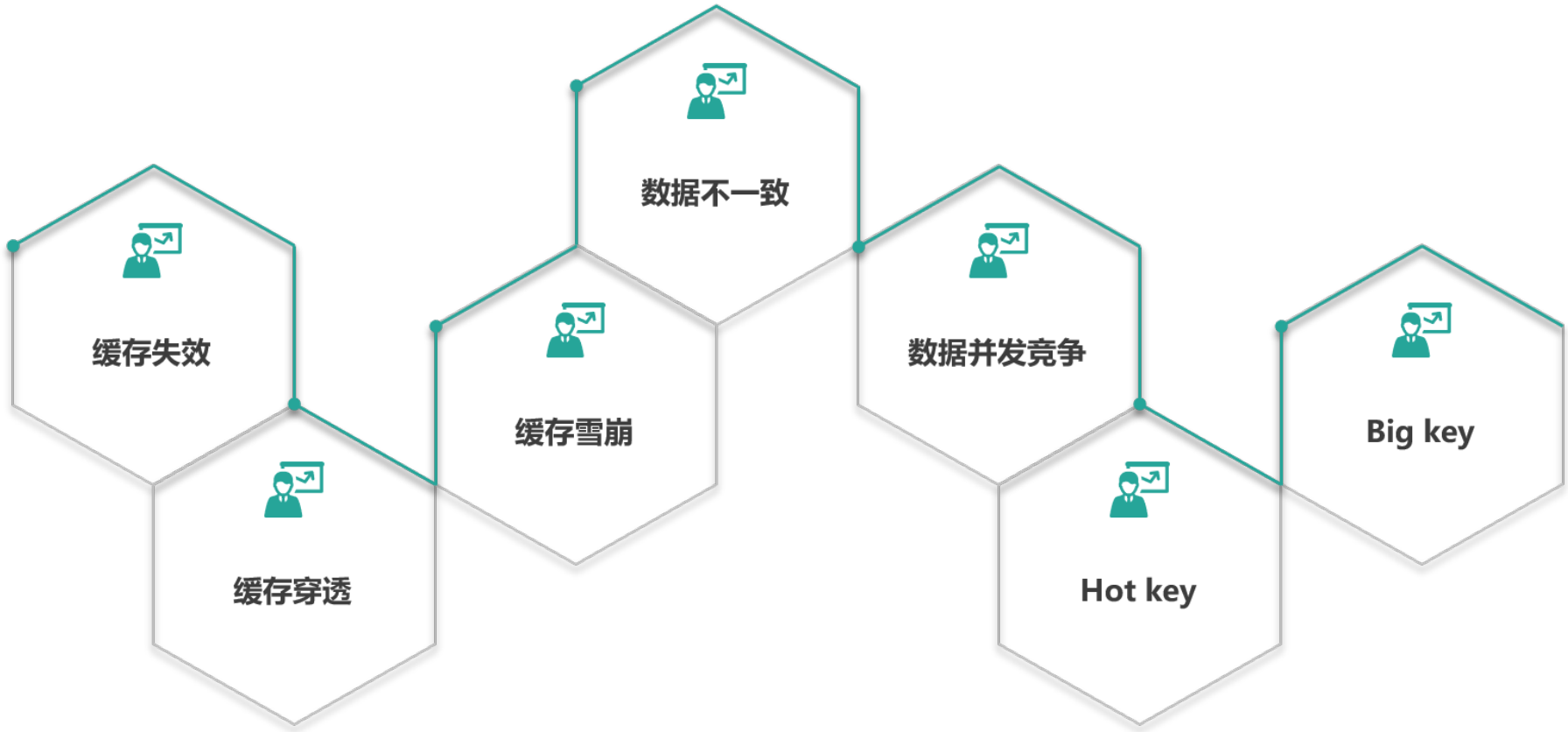
04 缓存失效、穿透和雪崩问题怎么处理?

你好，我是你的缓存老师陈波，欢迎进入第 4 课时“缓存访问相关的经典问题”。

前面讲解了缓存的原理、引入，以及设计架构，总结了缓存在使用及设计架构过程中的很多套路和关键考量点。实际上，在缓存系统的设计架构中，还有很多坑，很多的明枪暗箭，如果设计不当会导致很多严重的后果。设计不当，轻则请求变慢、性能降低，重则会数据不一致、系统可用性降低，甚至会导致缓存雪崩，整个系统无法对外提供服务。

接下来将对缓存设计中的 7 大经典问题，如下图，进行问题描述、原因分析，并给出日常研发中，可能会出现该问题的业务场景，最后给出这些经典问题的解决方案。本课时首先学习缓存失效、缓存穿透与缓存雪崩。



缓存失效

问题描述

缓存第一个经典问题是缓存失效。上一课时讲到，服务系统查数据，首先会查缓存，如果缓存数据不存在，就进一步查 DB，最后查到数据后回种到缓存并返回。缓存的性能比 DB 高 50~100 倍以上，所以我们希望数据查询尽可能命中缓存，这样系统负荷最小，性能最佳。缓存里的数据存储基本上都是以 key 为索引进行存储和获取的。业务访问时，如果大量的 key 同时过期，很多缓存数据访问都会 miss，进而穿透到 DB，DB 的压力就会明显上升，由于 DB 的性能较差，只在缓存的 1%~2% 以下，这样请求的慢查率会明显上升。这就是缓存失效的问题。

原因分析

导致缓存失效，特别是很多 key 一起失效的原因，跟我们日常写缓存的过期时间息息相关。

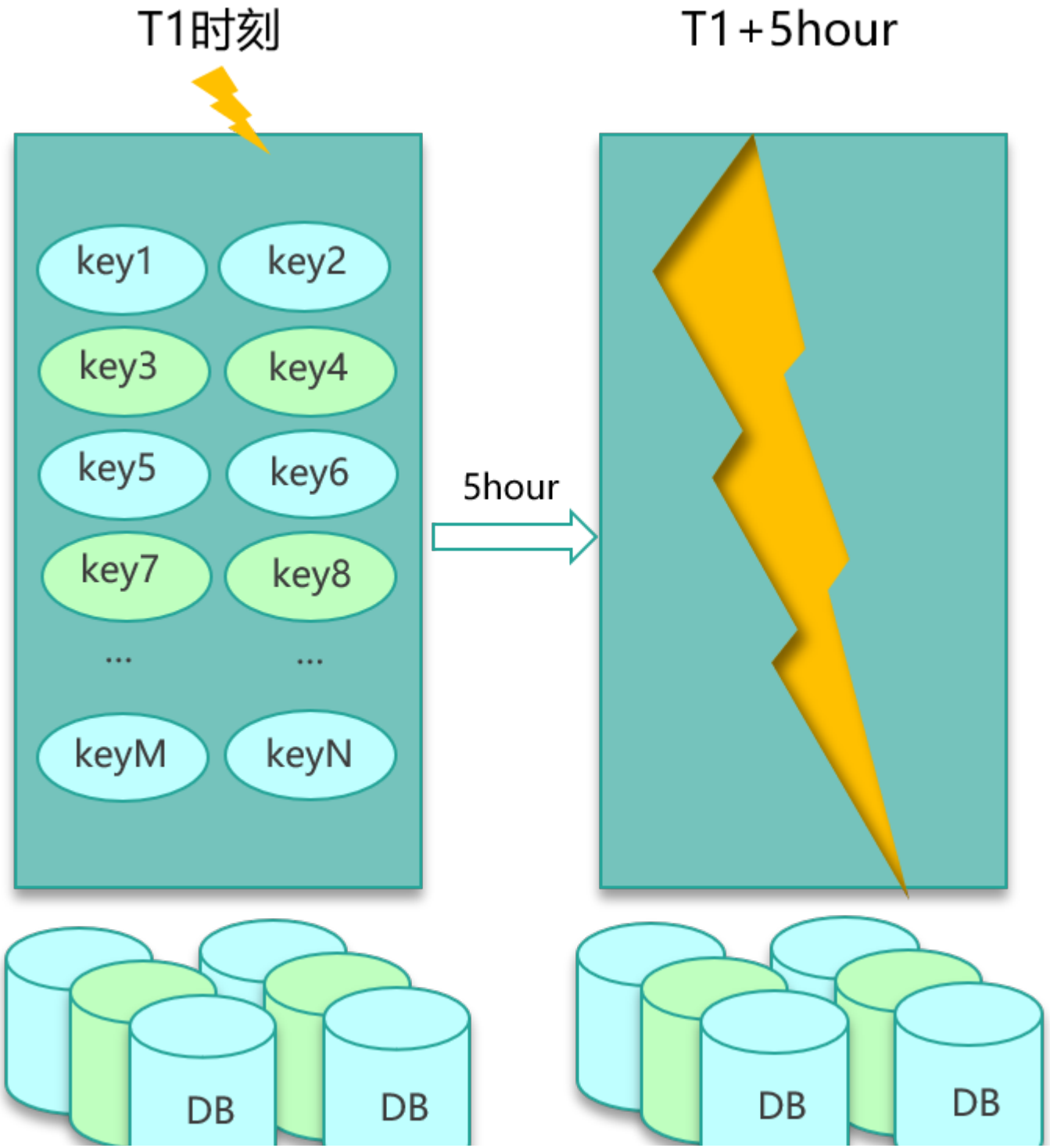
在写缓存时，我们一般会根据业务的访问特点，给每种业务数据预置一个过期时间，在写缓存时把这个过期时间带上，让缓存数据在这个固定的过期时间后被淘汰。一般情况下，因为缓存数据是逐步写入的，所以也是逐步过期被淘汰的。但在某些场景，一大批数据会被系统主动或被动从 DB 批量加载，然后写入缓存。这些数据写入缓存时，由于使用相同的过期时间，在经历这个过期时间之后，这批数据就会一起到期，从而被缓存淘汰。此时，对这批数据的所有请求，都会出现缓存失效，从而都穿透到 DB，DB 由于查询量太大，就很容易压力大增，请求变慢。

业务场景

很多业务场景，稍不注意，就出现大量的缓存失效，进而导致系统 DB 压力大、请求变慢的情况。比如同一批火车票、飞机票，当可以售卖时，系统会一次性加载到缓存，如果缓存写入时，过期时间按照预先设置的过期值，那过期时间到期后，系统就会因缓存失效出现变慢的问题。类似的业务场景还有很多，比如微博业务，会有后台离线系统，持续计算热门微博，每当计算结束，会将这批热门微博批量写入对应的缓存。还比如，很多业务，在部署新 IDC 或新业务上线时，会进行缓存预热，也会一次性加载大批热数据。

解决方案

对于批量 key 缓存失效的问题，原因既然是预置的固定过期时间，那解决方案也从这里入手。设计缓存的过期时间时，使用公式：过期时间=baes 时间+随机时间。即相同业务数据写缓存时，在基础过期时间之上，再加一个随机的过期时间，让数据在未来一段时间内慢慢过期，避免瞬时全部过期，对 DB 造成过大压力，如下图所示。


T1时刻
T1+5hour
key1
key2
key3
key4
key5
key6
key7
key8
...
...
keyM
keyN
5hour
DB
DB
DB
DB

缓存穿透

问题描述

第二个经典问题是缓存穿透。缓存穿透是一个很有意思的问题。因为缓存穿透发生的概率很低，所以一般很难被发现。但是，一旦你发现了，而且量还不小，你可能立即就会经历一个忙碌的夜晚。因为对于正常访问，访问的数据即便不在缓存，也可以通过 DB 加载回种到缓存。而缓存穿透，则意味着有特殊访客在查询一个不存在的 key，导致每次查询都会穿透到 DB，如果这个特殊访客再控制一批肉鸡机器，持续访问你系统里不存在的 key，就会对 DB 产生很大的压力，从而影响正常服务。

原因分析

缓存穿透存在的原因，就是因为我们在系统设计时，更多考虑的是正常访问路径，对特殊访问路径、异常访问路径考虑相对欠缺。

缓存访问设计的正常路径，是先访问 cache，cache miss 后查 DB，DB 查询到结果后，回种缓存返回。这对于正常的 key 访问是没有问题的，但是如果用户访问的是一个不存在的 key，查 DB 返回空（即一个 NULL），那就不会把这个空写回 cache。那以后不管查询多少次这个不存在的 key，都会 cache miss，都会查询 DB。整个系统就会退化成一个“前端 +DB”的系统，由于 DB 的吞吐只在 cache 的 1%~2% 以下，如果有特殊访客，大量访问这些不存在的 key，就会导致系统的性能严重退化，影响正常用户的访问。

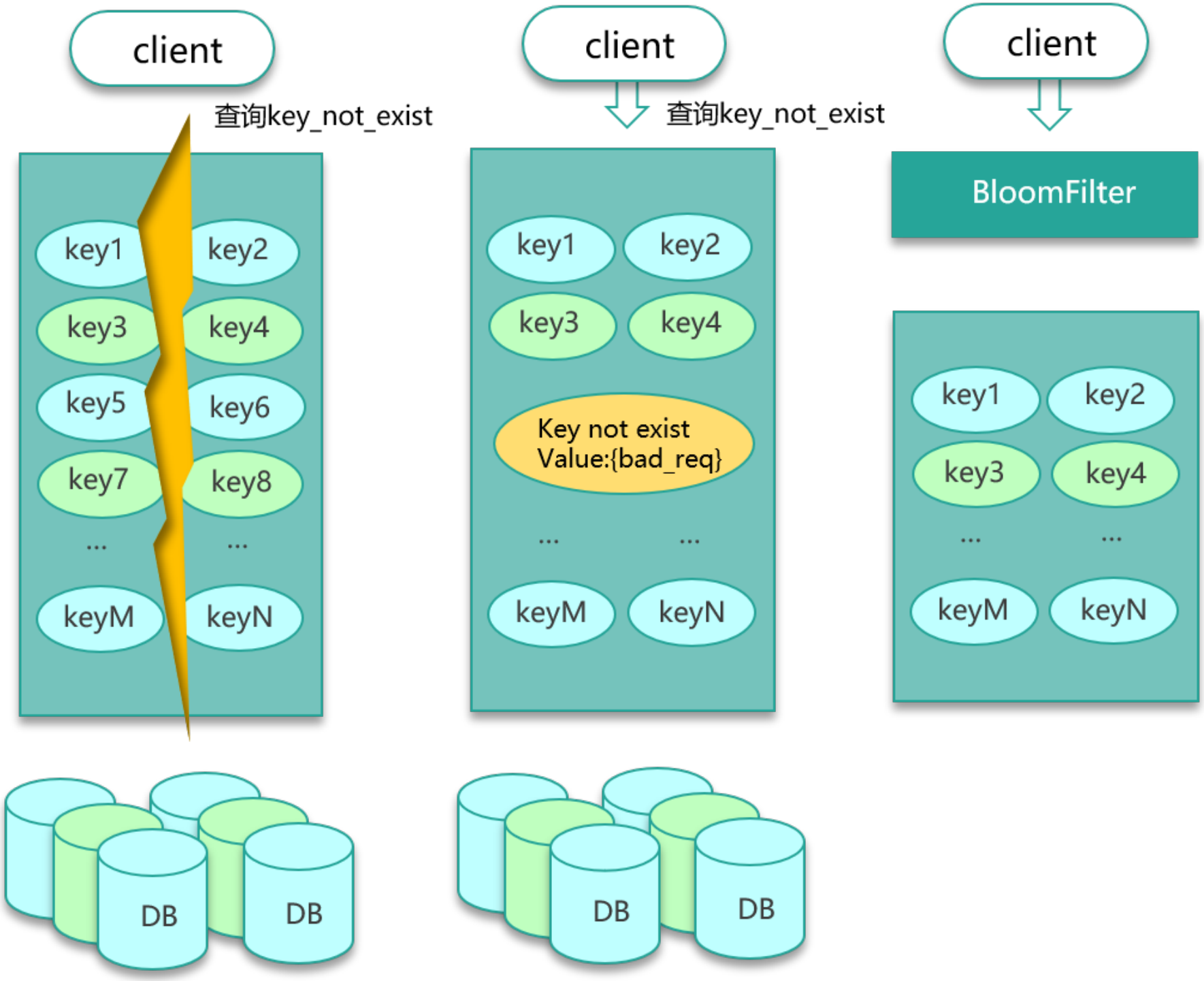
业务场景

缓存穿透的业务场景很多，比如通过不存在的 UID 访问用户，通过不存在的车次 ID 查看购票信息。用户输入错误，偶尔几个这种请求问题不大，但如果是大量这种请求，就会对系统影响非常大。

解决方案

那么如何解决这种问题呢？如下图所示。

- 第一种方案就是，查询这些不存在的数据时，第一次查 DB，虽然没查到结果返回 NULL，仍然记录这个 key 到缓存，只是这个 key 对应的 value 是一个特殊设置的值。
- 第二种方案是，构建一个 BloomFilter 缓存过滤器，记录全量数据，这样访问数据时，可以直接通过 BloomFilter 判断这个 key 是否存在，如果不存在直接返回即可，根本无需查缓存和 DB。

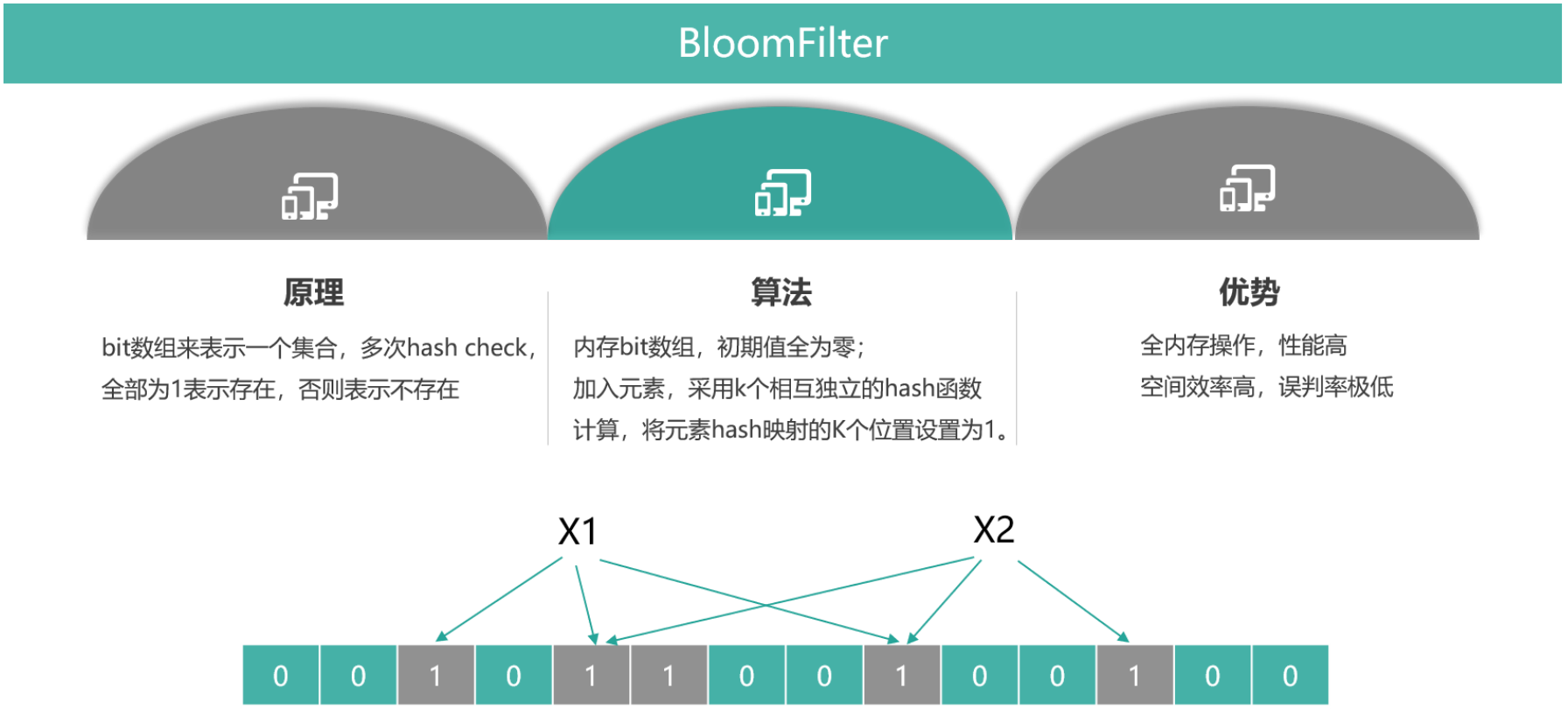

client
client
client
查询key_not_exist
查询key_not_exist
BloomFilter
key1
key2
key3
key4
key5
key6
key7
key8
...
...
keyM
keyN
Key not exist
Value:{bad_req}
DB
DB
DB
DB

不过这两种方案在设计时仍然有一些要注意的坑。

- 对于方案一，如果特殊访客持续访问大量的不存在的 key，这些 key 即便只存一个简单的默认值，也会占用大量的缓存空间，导致正常 key 的命中率下降。所以进一步的改进措施是，对这些不存在的 key 只存较短的时间，让它们尽快过期；或者将这些不存在的 key 存在一个独立的公共缓存，从缓存查找时，先查正常的缓存组件，如果 miss，则查一下公共的非法 key 的缓存，如果后者命中，直接返回，否则穿透 DB，如果查出来是空，则回种到非法 key 缓存，否则回种到正常缓存。
- 对于方案二，BloomFilter 要缓存全量的 key，这就要求全量的 key 数量不大，10亿 条数据以内最佳，因为 10亿 条数据大概要占用 1.2GB 的内存。也可以用 BloomFilter 缓存非法 key，每次发现一个 key 是不存在的非法 key，就记录到 BloomFilter 中，这种记录方案，会导致 BloomFilter 存储的 key 持续高速增长，为了避免记录 key 太多而导致误判率增大，需要定期清零处理。

BloomFilter

BloomFilter 是一个非常有意思的数据结构，不仅仅可以挡住非法 key 攻击，还可以低成本、高性能地对海量数据进行判断，比如一个系统有数亿用户和百亿级新闻 feed，就可以用 BloomFilter 来判断某个用户是否阅读某条新闻 feed。下面来对 BloomFilter 数据结构做一个分析，如下图所示。



BloomFilter 的目的是检测一个元素是否存在于一个集合内。它的原理，是用 bit 数据组来表示一个集合，对一个 key 进行多次不同的 Hash 检测，如果所有 Hash 对应的 bit 位都是 1，则表明 key 非常大概率存在，平均单记录占用 1.2 字节即可达到 99%，只要有一次 Hash 对应的 bit 位是 0，就说明这个 key 肯定不存在于这个集合内。

BloomFilter 的算法是，首先分配一块内存空间做 bit 数组，数组的 bit 位初始值全部设为 0，加入元素时，采用 k 个相互独立的 Hash 函数计算，然后将元素 Hash 映射的 K 个位置全部设置为 1。检测 key 时，仍然用这 k 个 Hash 函数计算出 k 个位置，如果位置全部为 1，则表明 key 存在，否则不存在。

BloomFilter 的优势是，全内存操作，性能很高。另外空间效率非常高，要达到 1% 的误判率，平均单条记录占用 1.2 字节即可。而且，平均单条记录每增加 0.6 字节，还可让误判率继续变为之前的 1/10，即平均单条记录占用 1.8 字节，误判率可以达到 1/1000；平均单条记录占用 2.4 字节，误判率可以到 1/10000，以此类推。这里的误判率是指，BloomFilter 判断某个 key 存在，但它实际不存在的概率，因为它存的是 key 的 Hash 值，而非 key 的值，所以有概

率存在这样的 key，它们内容不同，但多次 Hash 后的 Hash 值都相同。对于 BloomFilter 判断不存在的 key ，则是 100% 不存在的，反证法，如果这个 key 存在，那它每次 Hash 后对应的 Hash 值位置肯定是 1，而不会是 0。

缓存雪崩

问题描述

第三个经典问题是缓存雪崩。系统运行过程中，缓存雪崩是一个非常严重的问题。缓存雪崩是指部分缓存节点不可用，导致整个缓存体系甚至甚至服务系统不可用的情况。缓存雪崩按照缓存是否 rehash（即是否漂移）分两种情况：

- 缓存不支持 rehash 导致的系统雪崩不可用
- 缓存支持 rehash 导致的缓存雪崩不可用

原因分析

在上述两种情况中，缓存不进行 rehash 时产生的雪崩，一般是由于较多缓存节点不可用，请求穿透导致 DB 也过载不可用，最终整个系统雪崩不可用的。而缓存支持 rehash 时产生的雪崩，则大多跟流量洪峰有关，流量洪峰到达，引发部分缓存节点过载 Crash，然后因 rehash 扩散到其他缓存节点，最终整个缓存体系异常。

第一种情况比较容易理解，缓存节点不支持 rehash，较多缓存节点不可用时，大量 Cache 访问会失败，根据缓存读写模型，这些请求会进一步访问 DB，而且 DB 可承载的访问量要远比缓存小的多，请求量过大，就很容易造成 DB 过载，大量慢查询，最终阻塞甚至 Crash，从而导致服务异常。

第二种情况是怎么回事呢？这是因为缓存分布设计时，很多同学会选择一致性 Hash 分布方式，同时在部分节点异常时，采用 rehash 策略，即把异常节点请求平均分散到其他缓存节点。在一般情况下，一致性 Hash 分布+rehash 策略可以很好得运行，但在较大的流量洪峰到临之时，如果大流量 key 比较集中，正好在某 1～2 个缓存节点，很容易将这些缓存节点的内存、网卡过载，缓存节点异常 Crash，然后这些异常节点下线，这些大流量 key 请求又被 rehash 到其他缓存节点，进而导致其他缓存节点也被过载 Crash，缓存异常持续扩散，最终导致整个缓存体系异常，无法对外提供服务。

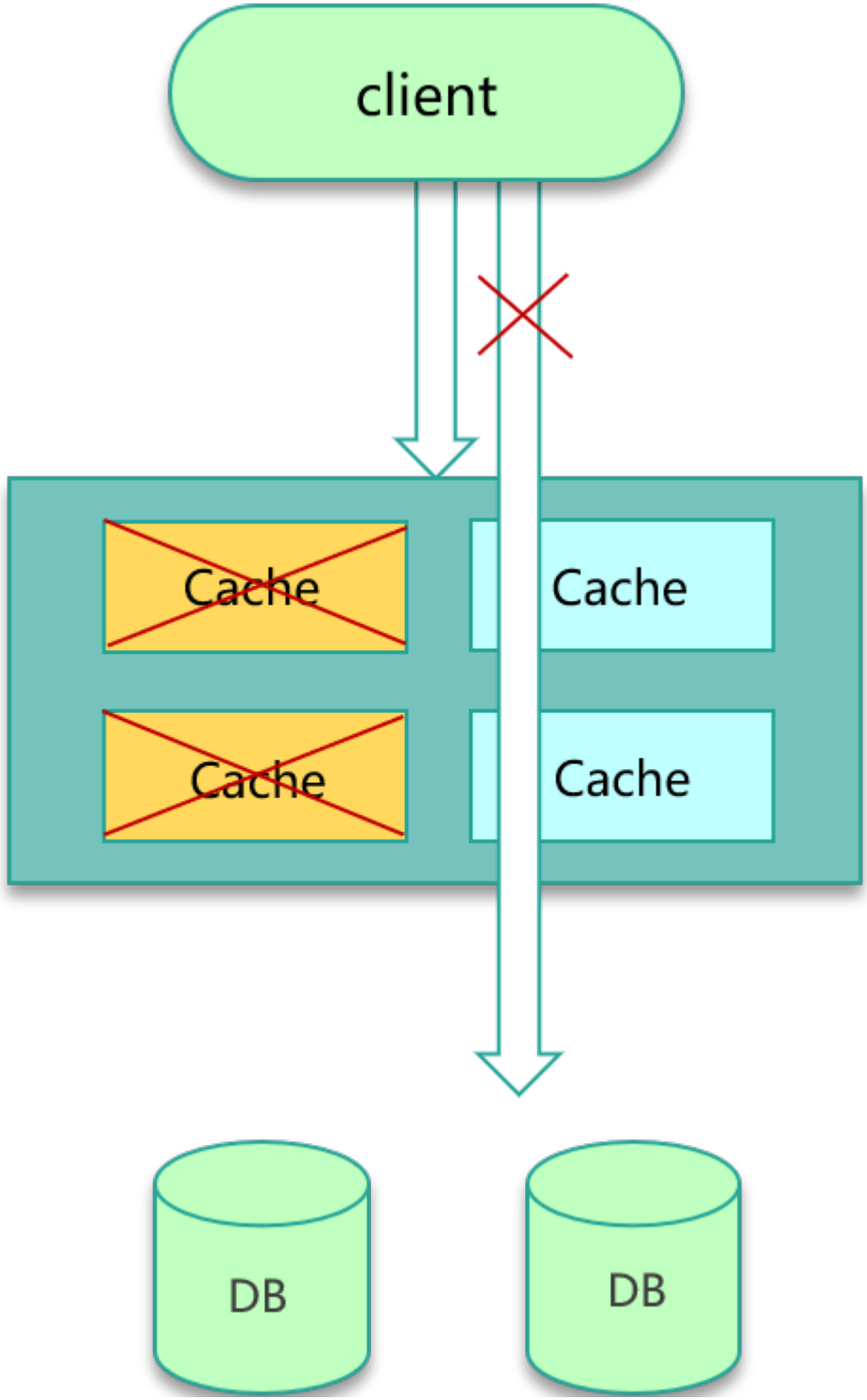
业务场景

缓存雪崩的业务场景并不少见，微博、Twitter 等系统在运行的最初若干年都遇到过很多次。比如，微博最初很多业务缓存采用一致性 Hash+rehash 策略，在突发洪水流量来临时，部分缓存节点过载 Crash 甚至宕机，然后这些异常节点的请求转到其他缓存节点，又导致其他缓存节点过载异常，最终整个缓存池过载。另外，机架断电，导致业务缓存多个节点宕机，大量请求直接打到 DB，也导致 DB 过载而阻塞，整个系统异常。最后缓存机器复电后，DB 重启，数据逐步加热后，系统才逐步恢复正常。

解决方案

预防缓存雪崩，这里给出 3 个解决方案。

- 方案一，对业务 DB 的访问增加读写开关，当发现 DB 请求变慢、阻塞，慢请求超过阀值时，就会关闭读开关，部分或所有读 DB 的请求进行 failfast 立即返回，待 DB 恢复后再打开读开关，如下图。


client
Cache
Cache
Cache
Cache
DB
DB

- 方案二，对缓存增加多个副本，缓存异常或请求 `miss` 后，再读取其他缓存副本，而且多个缓存副本尽量部署在不同机架，从而确保在任何情况下，缓存系统都会正常对外提供服务。
- 方案三，对缓存体系进行实时监控，当请求访问的慢速比超过阀值时，及时报警，通过机器替换、服务替换进行及时恢复；也可以通过各种自动故障转移策略，自动关闭异常接口、停止边缘服务、停止部分非核心功能措施，确保在极端场景下，核心功能的正常运行。

实际上，微博平台系统，这三种方案都采用了，通过三管齐下，规避缓存雪崩的发生。

上一页 下一页