

19 | 案例篇：为什么系统的Swap变高了（上）

2019-01-02 倪朋飞



讲述：冯永吉

时长 11:58 大小 10.96M



你好，我是倪朋飞。

上一节，我通过一个斐波那契数列的案例，带你学习了内存泄漏的分析。如果在程序中直接或间接地分配了动态内存，你一定要记得释放掉它们，否则就会导致内存泄漏，严重时甚至会耗尽系统内存。

不过，反过来讲，当发生了内存泄漏时，或者运行了大内存的应用程序，导致系统的内存资源紧张时，系统又会如何应对呢？

在内存基础篇我们已经学过，这其实会导致两种可能结果，内存回收和 OOM 杀死进程。

我们先来看后一个可能结果，内存资源紧张导致的 OOM（Out Of Memory），相对容易理解，指的是系统杀死占用大量内存的进程，释放这些内存，再分配给其他更需要的进程。

这一点我们前面详细讲过，这里就不再重复了。

接下来再看第一个可能的结果，内存回收，也就是系统释放掉可以回收的内存，比如我前面讲过的缓存和缓冲区，就属于可回收内存。它们在内存管理中，通常被叫做**文件页**（File-backed Page）。

大部分文件页，都可以直接回收，以后有需要时，再从磁盘重新读取就可以了。而那些被应用程序修改过，并且暂时还没写入磁盘的数据（也就是脏页），就得先写入磁盘，然后才能进行内存释放。

这些脏页，一般可以通过两种方式写入磁盘。

可以在应用程序中，通过系统调用 `fsync`，把脏页同步到磁盘中；

也可以交给系统，由内核线程 `pdflush` 负责这些脏页的刷新。

除了缓存和缓冲区，通过内存映射获取的文件映射页，也是一种常见的文件页。它也可以被释放掉，下次再访问的时候，从文件重新读取。

除了文件页外，还有没有其他的内存可以回收呢？比如，应用程序动态分配的堆内存，也就是我们在内存管理中说到的**匿名页**（Anonymous Page），是不是也可以回收呢？

我想，你肯定会说，它们很可能还要再次被访问啊，当然不能直接回收了。非常正确，这些内存自然不能直接释放。

但是，如果这些内存在分配后很少被访问，似乎也是一种资源浪费。是不是可以把它们暂时先存在磁盘里，释放内存给其他更需要的进程？

其实，这正是 Linux 的 Swap 机制。Swap 把这些不常访问的内存先写到磁盘中，然后释放这些内存，给其他更需要的进程使用。再次访问这些内存时，重新从磁盘读入内存就可以了。

在前几节的案例中，我们已经分别学过缓存和 OOM 的原理和分析。那 Swap 又是怎么工作的呢？因为内容比较多，接下来，我将用两节课的内容，带你探索 Swap 的工作原理，以及 Swap 升高后的分析方法。

今天我们先来看看，Swap 究竟是怎么工作的。

Swap 原理

前面提到，Swap 说白了就是把一块磁盘空间或者一个本地文件（以下讲解以磁盘为例），当成内存来使用。它包括换出和换入两个过程。

所谓换出，就是把进程暂时不用的内存数据存储到磁盘中，并释放这些数据占用的内存。

而换入，则是在进程再次访问这些内存的时候，把它们从磁盘读到内存中来。

所以你看，Swap 其实是把系统的可用内存变大了。这样，即使服务器的内存不足，也可以运行大内存的应用程序。

还记得我最早学习 Linux 操作系统时，内存实在太贵了，一个普通学生根本就用不起大的内存，那会儿我就是开启了 Swap 来运行 Linux 桌面。当然，现在的内存便宜多了，服务器一般也会配置很大的内存，那是不是说 Swap 就没有用武之地了呢？

当然不是。事实上，内存再大，对应用程序来说，也有不够用的时候。

一个很典型的场景就是，即使内存不足时，有些应用程序也并不想被 OOM 杀死，而是希望能缓一段时间，等待人工介入，或者等系统自动释放其他进程的内存，再分配给它。

除此之外，我们常见的笔记本电脑的休眠和快速开机的功能，也基于 Swap。休眠时，把系统的内存存入磁盘，这样等到再次开机时，只要从磁盘中加载内存就可以。这样就省去了很多应用程序的初始化过程，加快了开机速度。

话说回来，既然 Swap 是为了回收内存，那么 Linux 到底在什么时候需要回收内存呢？前面一直在说内存资源紧张，又该怎么来衡量内存是不是紧张呢？

一个最容易想到的场景就是，有新的大块内存分配请求，但是剩余内存不足。这个时候系统就需要回收一部分内存（比如前面提到的缓存），进而尽可能地满足新内存请求。这个过程通常被称为**直接内存回收**。

除了直接内存回收，还有一个专门的内核线程用来定期回收内存，也就是**kswapd0**。为了衡量内存的使用情况，kswapd0 定义了三个内存阈值（watermark，也称为水位），分别是

页最小阈值（pages_min）、页低阈值（pages_low）和页高阈值（pages_high）。剩余内存，则使用 pages_free 表示。

这里，我画了一张图表示它们的关系。



kswapd0 定期扫描内存的使用情况，并根据剩余内存落在这三个阈值的空间位置，进行内存的回收操作。

剩余内存小于**页最小阈值**，说明进程可用内存都耗尽了，只有内核才可以分配内存。

剩余内存落在**页最小阈值**和**页低阈值**中间，说明内存压力比较大，剩余内存不多了。这时 kswapd0 会执行内存回收，直到剩余内存大于高阈值为止。

剩余内存落在**页低阈值**和**页高阈值**中间，说明内存有一定压力，但还可以满足新内存请求。

剩余内存大于**页高阈值**，说明剩余内存比较多，没有内存压力。

我们可以看到，一旦剩余内存小于页低阈值，就会触发内存的回收。这个页低阈值，其实可以通过内核选项 /proc/sys/vm/min_free_kbytes 来间接设置。min_free_kbytes 设置了页最小阈值，而其他两个阈值，都是根据页最小阈值计算生成的，计算方法如下：

 复制代码

```
1 pages_low = pages_min*5/4
2 pages_high = pages_min*3/2
```

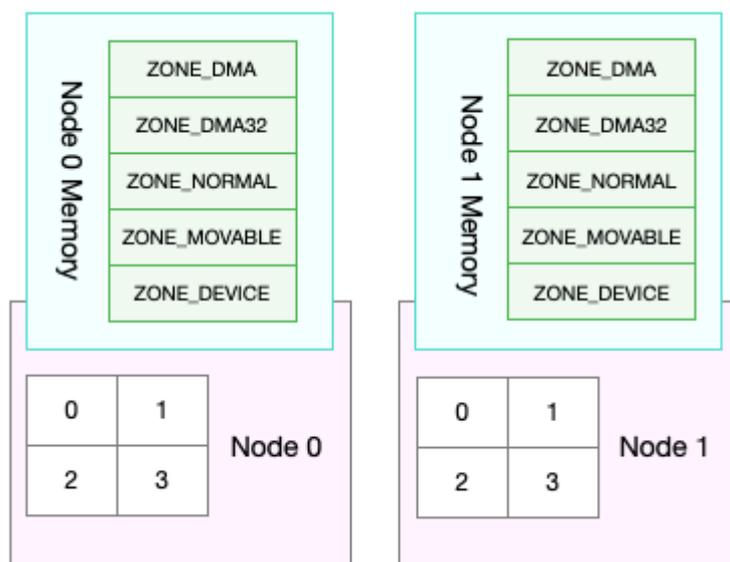
NUMA 与 Swap

很多情况下，你明明发现了 Swap 升高，可是在分析系统的内存使用时，却很可能发现，系统剩余内存还多着呢。为什么剩余内存很多的情况下，也会发生 Swap 呢？

看到上面的标题，你应该已经想到了，这正是处理器的 NUMA（Non-Uniform Memory Access）架构导致的。

关于 NUMA，我在 CPU 模块中曾简单提到过。在 NUMA 架构下，多个处理器被划分到不同 Node 上，且每个 Node 都拥有自己的本地内存空间。

而同一个 Node 内部的内存空间，实际上又可以进一步分为不同的内存域（Zone），比如直接内存访问区（DMA）、普通内存区（NORMAL）、伪内存区（MOVABLE）等，如下图所示：



先不用特别关注这些内存域的具体含义，我们只要会查看阈值的配置，以及缓存、匿名页的实际使用情况就够了。

既然 NUMA 架构下的每个 Node 都有自己的本地内存空间，那么，在分析内存的使用时，我们也应该针对每个 Node 单独分析。

你可以通过 numactl 命令，来查看处理器在 Node 的分布情况，以及每个 Node 的内存使用情况。比如，下面就是一个 numactl 输出的示例：

```
1 $ numactl --hardware
2 available: 1 nodes (0)
3 node 0 cpus: 0 1
4 node 0 size: 7977 MB
5 node 0 free: 4416 MB
6 ...
```

这个界面显示，我的系统中只有一个 Node，也就是 Node 0，而且编号为 0 和 1 的两个 CPU，都位于 Node 0 上。另外，Node 0 的内存大小为 7977 MB，剩余内存为 4416 MB。

了解了 NUMA 的架构和 NUMA 内存的查看方法后，你可能就要问了这跟 Swap 有什么关系呢？

实际上，前面提到的三个内存阈值（页最小阈值、页低阈值和页高阈值），都可以通过内存域在 proc 文件系统中的接口 /proc/zoneinfo 来查看。

比如，下面就是一个 /proc/zoneinfo 文件的内容示例：

```
1 $ cat /proc/zoneinfo
2 ...
3 Node 0, zone Normal
4 pages free 227894
5 min 14896
6 low 18620
7 high 22344
8 ...
9 nr_free_pages 227894
10 nr_zone_inactive_anon 11082
11 nr_zone_active_anon 14024
12 nr_zone_inactive_file 539024
13 nr_zone_active_file 923986
14 ...
```

这个输出中有大量指标，我来解释一下比较重要的几个。

pages 处的 min、low、high，就是上面提到的三个内存阈值，而 free 是剩余内存页数，它跟后面的 nr_free_pages 相同。

nr_zone_active_anon 和 nr_zone_inactive_anon，分别是活跃和非活跃的匿名页数。

nr_zone_active_file 和 nr_zone_inactive_file，分别是活跃和非活跃的文件页数。

从这个输出结果可以发现，剩余内存远大于页高阈值，所以此时的 kswapd0 不会回收内存。

当然，某个 Node 内存不足时，系统可以从其他 Node 寻找空闲内存，也可以从本地内存中回收内存。具体选哪种模式，你可以通过 /proc/sys/vm/zone_reclaim_mode 来调整。它支持以下几个选项：

默认的 0，也就是刚刚提到的模式，表示既可以从其他 Node 寻找空闲内存，也可以从本地回收内存。

1、2、4 都表示只回收本地内存，2 表示可以回写脏数据回收内存，4 表示可以用 Swap 方式回收内存。

swappiness

到这里，我们就可以理解内存回收的机制了。这些回收的内存既包括了文件页，又包括了匿名页。

对文件页的回收，当然就是直接回收缓存，或者把脏页写回磁盘后再回收。

而对匿名页的回收，其实就是通过 Swap 机制，把它们写入磁盘后再释放内存。

不过，你可能还有一个问题。既然有两种不同的内存回收机制，那么在实际回收内存时，到底该先回收哪一种呢？

其实，Linux 提供了一个 /proc/sys/vm/swappiness 选项，用来调整使用 Swap 的积极程度。

swappiness 的范围是 0-100，数值越大，越积极使用 Swap，也就是更倾向于回收匿名页；数值越小，越消极使用 Swap，也就是更倾向于回收文件页。

虽然 swappiness 的范围是 0-100，不过要注意，这并不是内存的百分比，而是调整 Swap 积极程度的权重，即使你把它设置成 0，当剩余内存 + 文件页小于页高阈值时，还是会发生 Swap。

清楚了 Swap 原理后，当遇到 Swap 使用变高时，又该怎么定位、分析呢？别急，下一节，我们将用一个案例来探索实践。

小结

在内存资源紧张时，Linux 通过直接内存回收和定期扫描的方式，来释放文件页和匿名页，以便把内存分配给更需要的进程使用。

文件页的回收比较容易理解，直接清空，或者把脏数据写回磁盘后再释放。

而对匿名页的回收，需要通过 Swap 换出到磁盘中，下次访问时，再从磁盘换入到内存中。

你可以设置 `/proc/sys/vm/min_free_kbytes`，来调整系统定期回收内存的阈值（也就是页低阈值），还可以设置 `/proc/sys/vm/swappiness`，来调整文件页和匿名页的回收倾向。

在 NUMA 架构下，每个 Node 都有自己的本地内存空间，而当本地内存不足时，默认既可以从其他 Node 寻找空闲内存，也可以从本地内存回收。

你可以设置 `/proc/sys/vm/zone_reclaim_mode`，来调整 NUMA 本地内存的回收策略。

思考

最后，我想请你一起来聊聊你理解的 SWAP。我估计你以前已经碰到过 Swap 导致的性能问题，你是怎么分析这些问题的呢？你可以结合今天讲的 Swap 原理，记录自己的操作步骤，总结自己的解决思路。

欢迎在留言区和我讨论，也欢迎把这篇文章分享给你的同事、朋友。我们一起在实战中演练，在交流中进步。



Linux 性能优化实战

10 分钟帮你找到系统瓶颈

倪朋飞

微软资深工程师
Kubernetes 项目维护者



新版升级：点击「 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

上一篇 18 | 案例篇：内存泄漏了，我该如何定位和处理？

下一篇 20 | 案例篇：为什么系统的Swap变高了？（下）

精选留言 (35)

写留言



石头

2019-01-02

6

hadoop集群服务器一般是建议关闭swap交换空间，这样可提高性能。在什么情况下开swap、什么情况下关swap？



我来也

2019-01-02

3

[D19打卡]

很遗憾,还未遇到过swap导致的性能问题.

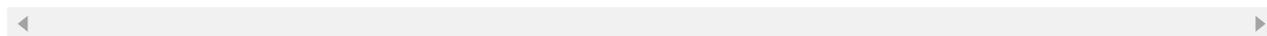
刚买电脑时,512M内存要四百多,可是当时也不玩linux.

等工作了,用linux了,内存相对来说已经比较便宜了.

现在就更不用说了,基本小钱能解决的问题都不是问题了....

展开 ▾

作者回复: 📌



shellmode

2019-01-22

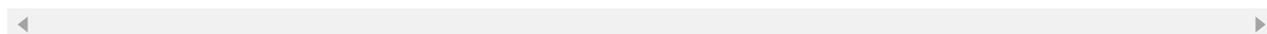
👍 2

关于上面有同学表示 hadoop 集群建议关 swap 提升性能。事实上不仅 hadoop，包括 ES 在内绝大部分 Java 的应用都建议关 swap，这个和 JVM 的 gc 有关，它在 gc 的时候会遍历所有用到的堆的内存，如果这部分内存是被 swap 出去了，遍历的时候就会有磁盘 IO

...

展开 ▾

作者回复: 嗯嗯，大部分应用都不需要swap



路过

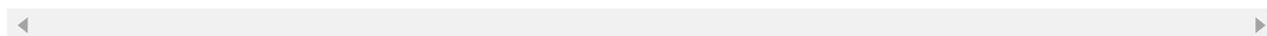
2019-01-03

👍 2

老师，前面你写只有当剩余内存落在页最小阈值和页低阈值中间，才开始回收内存。后面讲即使把 swappiness 设置为0，当剩余内存 + 文件页小于页高阈值时，还是会发生 Swap。我理解，这里是不是应该是：当剩余内存 + 文件页小于页低阈值时，还是会发生 Swap。谢谢！

展开 ▾

作者回复: 阈值的比较只代表回收内存的时机，具体回收哪些内存才是swappiness的目的，但是swappiness只是个倾向，而非绝对值



某、人

2019-01-02

👍 2

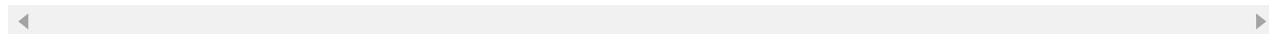
swap应该是针对以前内存小的一种优化吧,不过现在内存没那么昂贵之后,所以就没那么大的必要开启了

numa感觉是对系统资源做的隔离分区,不过目前虚拟化和docker这么流行。而且node与node之间访问更耗时,针对大程序不一定启到了优化作用,针对小程序,也没有太大必要。所

以numa也没必要开启。...

展开 ▾

作者回复: 对的



2xshu

2019-01-02

👍 2

非常感谢老师的课程。让我受益匪浅。

老师，我还有两个问题，想请教。

1 : zone_reclaim_mode设置成1，也即是开启zone reclaim。此时当内存即是低于water水位的low值，是不是也得需要满足min_unmapped_ratio所给的百分比才会让kswapd0/1开始内存回收？...

展开 ▾



1300123638...

2019-01-17

👍 1

除了缓存和缓冲区，通过内存映射获取的文件映射页，也是一种常见的文件页。这个和缓存和缓冲中的文件页有啥区别了



划时代

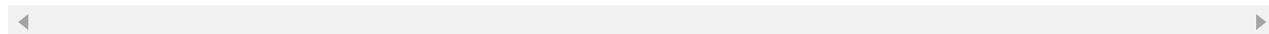
2019-01-03

👍 1

最近碰到内存打满，瞬间导致系统负载和CPU使用率打满的情况。

展开 ▾

作者回复: 解决了没？



bob

2019-01-03

👍 1

swappiness=0

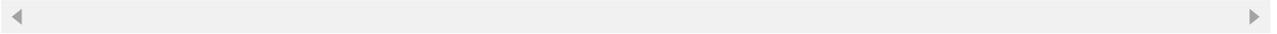
Kernel version 3.5 and newer: disables swappiness.

Kernel version older than 3.5: avoids swapping processes out of physical memory for as long as possible.

如果linux内核是3.5及以后的，最好是设置swappiness=10，不要设置swappiness=0...

展开 ▾

作者回复: 谢谢分享



爆爱渣科_...

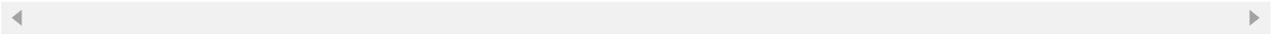
2019-01-02

👍 1

感觉后面越写越变成讲述linux工具的文章。。。

展开 ▾

作者回复: 案例篇都会介绍一些常用的性能工具, 用好工具事半功倍。当然, 如果你有更好的方法, 也欢迎分享



Days

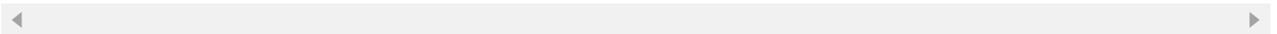
2019-01-02

👍 1

我们公司处理嵌入式系统都是关闭swap分区, 具体不知道什么原因?

展开 ▾

作者回复: 一般是为了减少写的次数, 延长Flash存储的寿命



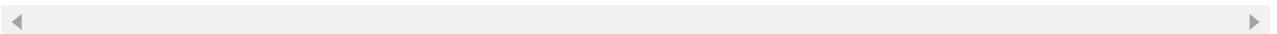
React

2019-01-02

👍 1

老师好, 文中说电脑的休眠是基于swap. 如果系统没有分配swap分区, 还会将内存数据写入磁盘吗

作者回复: 除了分区之外, 也可以用文件



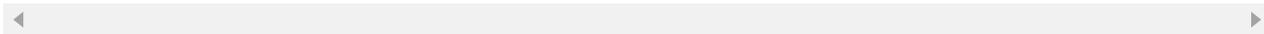
DJH

2019-01-02

👍 1

倪老师, 请教一下, Linux下怎么关闭SWAP功能? 直接不分配SWAP卷(或者分区、文件), 还是通过某个关闭SWAP功能的系统选项?

作者回复: swapoff命令可以动态关闭, 持久化还要从fstab里面删除



爱学习的小...

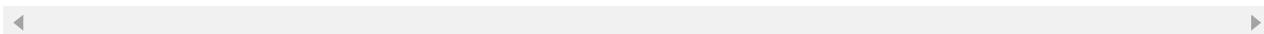
2019-02-21



请问老师、为什么kubernetes要关闭swap呢？

展开 ∨

作者回复: 一个是性能问题, 开启swap会严重影响性能(包括内存和I/O); 另一个是管理问题, 开启swap后通过cgroups设置的内存上限就会失效。



如果

2019-01-30



DAY19.打卡

展开 ∨



liubiqianm...

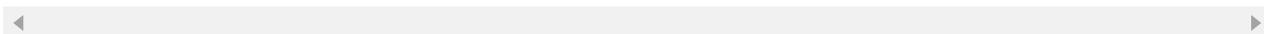
2019-01-29



匿名页换出到磁盘之后, 如果进程再次使用到, 会被换入到内存中, 这时候磁盘中的这个匿名页会从磁盘中释放掉吗? 如果换出的匿名页一直没有被使用, 从磁盘中释放的策略又怎样的呢?

展开 ∨

作者回复: (1) 会释放掉的; (2) 要看进程状态, 比如进程退出了就会释放掉



Mr.Strive...

2019-01-25



老师您好:

系统在内存资源紧张时会释放 文件页和匿名页。

对于页的类型有一个疑惑:

文件页是IO时候内存中存储的页, 称之为文件页。(文件页肯定在内核空间中)

匿名页是应用程序需要的堆内存，称之为匿名页。（匿名页肯定在用户空间中）...

展开 ▾



日行一善52...

2019-01-16



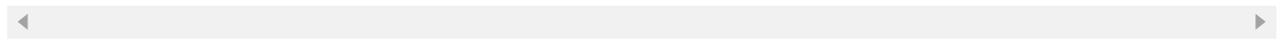
看到评论有人问

hadoop集群服务器一般是建议关闭swap交换空间，这样可提高性能。在什么情况下开swap、什么情况下关swap？

为了性能关闭swap，这样就不会交换也不会慢了。内核里有个vm.xx的值可以调节swap...

展开 ▾

作者回复: 谢谢分享



刘榴

2019-01-10



涨知识了

展开 ▾



生活在别处

2019-01-09



请问分配给所有node的内存之外的内存,cpu是怎么访问的？

展开 ▾

作者回复: Node外内存？使用了NUMA，内存会按照NUMA Node 访问

