

21 | 套路篇：如何“快准狠”找到系统内存的问题？

2019-01-07 倪朋飞



讲述：冯永吉

时长 12:47 大小 11.72M



你好，我是倪朋飞。

前几节，通过几个案例，我们分析了各种常见的内存性能问题。我相信通过它们，你对内存的性能分析已经有了基本的思路，也熟悉了很多分析内存性能的工具。你肯定会想，有没有迅速定位内存问题的方法？当定位出内存的瓶颈后，又有哪些优化内存的思路呢？

今天，我就来帮你梳理一下，怎样可以快速定位系统内存，并且总结了相关的解决思路。

内存性能指标

为了分析内存的性能瓶颈，首先你要知道，怎样衡量内存的性能，也就是性能指标问题。我们先来回顾一下，前几节学过的内存性能指标。

你可以自己先找张纸，凭着记忆写一写；或者打开前面的文章，自己总结一下。

首先，你最容易想到的是系统内存使用情况，比如已用内存、剩余内存、共享内存、可用内存、缓存和缓冲区的用量等。

已用内存和剩余内存很容易理解，就是已经使用和还未使用的内存。

共享内存是通过 tmpfs 实现的，所以它的大小也就是 tmpfs 使用的内存大小。tmpfs 其实也是一种特殊的缓存。

可用内存是新进程可以使用的最大内存，它包括剩余内存和可回收缓存。

缓存包括两部分，一部分是磁盘读取文件的页缓存，用来缓存从磁盘读取的数据，可以加快以后再次访问的速度。另一部分，则是 Slab 分配器中的可回收内存。

缓冲区是对原始磁盘块的临时存储，用来缓存将要写入磁盘的数据。这样，内核就可以把分散的写集中起来，统一优化磁盘写入。

第二类很容易想到的，应该是进程内存使用情况，比如进程的虚拟内存、常驻内存、共享内存以及 Swap 内存等。

虚拟内存，包括了进程代码段、数据段、共享内存、已经申请的堆内存和已经换出的内存等。这里要注意，已经申请的内存，即使还没有分配物理内存，也算作虚拟内存。

常驻内存是进程实际使用的物理内存，不过，它不包括 Swap 和共享内存。

共享内存，既包括与其他进程共同使用的真实的共享内存，还包括了加载的动态链接库以及程序的代码段等。

Swap 内存，是指通过 Swap 换出到磁盘的内存。

当然，这些指标中，常驻内存一般会换算成占系统总内存的百分比，也就是进程的内存使用率。

除了这些很容易想到的指标外，我还想再强调一下，缺页异常。

在内存分配的原理中，我曾经讲到过，系统调用内存分配请求后，并不会立刻为其分配物理内存，而是在请求首次访问时，通过缺页异常来分配。缺页异常又分为下面两种场景。

可以直接从物理内存中分配时，被称为次缺页异常。

需要磁盘 I/O 介入（比如 Swap）时，被称为主缺页异常。

显然，主缺页异常升高，就意味着需要磁盘 I/O，那么内存访问也会慢很多。

除了系统内存和进程内存，第三类重要指标就是 Swap 的使用情况，比如 Swap 的已用空间、剩余空间、换入速度和换出速度等。

已用空间和剩余空间很好理解，就是字面上的意思，已经使用和没有使用的内存空间。

换入和换出速度，则表示每秒钟换入和换出内存的大小。

这些内存的性能指标都需要我们熟记并且会用，我把它们汇总成了一个思维导图，你可以保存打印出来，或者自己仿照着总结一份。



内存性能工具

了解了内存的性能指标，我们还得知道，怎样才能获得这些指标，也就是会用性能工具。这里，我们也用同样的方法，回顾一下前面案例中已经用到的各种内存性能工具。还是鼓励你先自己回忆和总结一下。

首先，你应该注意到了，所有的案例中都用到了 `free`。这是个最常用的内存工具，可以查看系统的整体内存和 Swap 使用情况。相对应的，你可以用 `top` 或 `ps`，查看进程的内存使用情况。

然后，在缓存和缓冲区的原理篇中，我们通过 `proc` 文件系统，找到了内存指标的来源；并通过 `vmstat`，动态观察了内存的变化情况。与 `free` 相比，`vmstat` 除了可以动态查看内存变化，还可以区分缓存和缓冲区、Swap 换入和换出的内存大小。

接着，在缓存和缓冲区的案例篇中，为了弄清楚缓存的命中情况，我们又用了 `cachestat`，查看整个系统缓存的读写命中情况，并用 `cachetop` 来观察每个进程缓存的读写命中情况。

再接着，在内存泄漏的案例中，我们用 `vmstat`，发现了内存使用在不断增长，又用 `memleak`，确认发生了内存泄漏。通过 `memleak` 给出的内存分配栈，我们找到了内存泄漏的可疑位置。

最后，在 Swap 的案例中，我们用 `sar` 发现了缓冲区和 Swap 升高的问题。通过 `cachetop`，我们找到了缓冲区升高的根源；通过对比剩余内存跟 `/proc/zoneinfo` 的内存阈，我们发现 Swap 升高是内存回收导致的。案例最后，我们还通过 `/proc` 文件系统，找出了 Swap 所影响的进程。

到这里，你是不是再次感觉到了来自性能世界的“恶意”。性能工具怎么那么多呀？其实，还是那句话，理解内存的工作原理，结合性能指标来记忆，拿下工具的使用方法并不难。

性能指标和工具的联系

同 CPU 性能分析一样，我的经验是两个不同维度出发，整理和记忆。

从内存指标出发，更容易把工具和内存的工作原理关联起来。

从性能工具出发，可以更快地利用工具，找出我们想观察的性能指标。特别是在工具有限的情况下，我们更得充分利用手头的每一个工具，挖掘出更多的问题。

同样的，根据内存性能指标和工具的对应关系，我做了两个表格，方便你梳理关系和理解记忆。当然，你也可以当成“指标工具”和“工具指标”指南来用，在需要时直接查找。

第一个表格，从内存指标出发，列举了哪些性能工具可以提供这些指标。这样，在实际排查性能问题时，你就可以清楚知道，究竟要用什么工具来辅助分析，提供你想要的指标。

根据指标找工具（内存性能）

内存指标	性能工具
系统已用、可用、剩余内存	free vmstat sar /proc/meminfo
进程虚拟内存、常驻内存、共享内存	ps top
进程内存分布	pmap
进程Swap换出内存	top /proc/pid/status
进程缺页异常	ps top
系统换页情况	sar
缓存/缓冲区用量	free vmstat sar cachestat
缓存/缓冲区命中率	cachetop
SWAP已用空间和剩余空间	free sar
Swap换入换出	vmstat
内存泄漏检测	memleak valgrind
指定文件的缓存大小	pcstat

第二个表格，从性能工具出发，整理了这些常见工具能提供的内存指标。掌握了这个表格，你可以最大化利用已有的工具，尽可能多地找到你要的指标。

这些工具的具体使用方法并不用背，你只要知道有哪些可用的工具，以及这些工具提供的基本指标。真正用到时，man 一下查它们的使用手册就可以了。

根据工具查指标（内存性能）	
性能工具	内存指标
free /proc/meminfo	系统已用、可用、剩余内存以及缓存和缓冲区的使用量
top ps	进程虚拟、常驻、共享内存以及缺页异常
vmstat	系统剩余内存、缓存、缓冲区、换入、换出
sar	系统内存换页情况、内存使用率、缓存和缓冲区用量以及Swap使用情况
cachestat	系统缓存和缓冲区的命中率
cachetop	进程缓存和缓冲区的命中率
slabtop	系统Slab缓存使用情况
/proc/pid/status	进程Swap内存等
/proc/pid/smaps pmap	进程地址空间和内存状态
valgrind	进程内存错误检查器，用来检测内存初始化、泄漏、越界访问等各种内存错误
memleak	内存泄漏检测
pcstat	查看指定文件的缓存情况

如何迅速分析内存的性能瓶颈

我相信到这一步，你对内存的性能指标已经非常熟悉，也清楚每种性能指标分别能用什么工具来获取。

那是不是说，每次碰到内存性能问题，你都要把上面这些工具全跑一遍，然后再把所有内存性能指标全分析一遍呢？

自然不是。前面的 CPU 性能篇我们就说过，简单查找法，虽然是有用的，也很可能找到某些系统潜在瓶颈。但是这种方法的低效率和大工作量，让我们首先拒绝了这种方法。

还是那句话，在实际生产环境中，我们希望的是，尽可能**快**地定位系统瓶颈，然后尽可能**快**地优化性能，也就是要又快又准地解决性能问题。

那有没有什么方法，可以又快又准地分析出系统的内存问题呢？

方法当然有。还是那个关键词，找关联。其实，虽然内存的性能指标很多，但都是为了描述内存的原理，指标间自然不会完全孤立，一般都会有关联。当然，反过来说，这些关联也正是源于系统的内存原理，这也是我总强调基础原理的重要性，并在文章中穿插讲解。

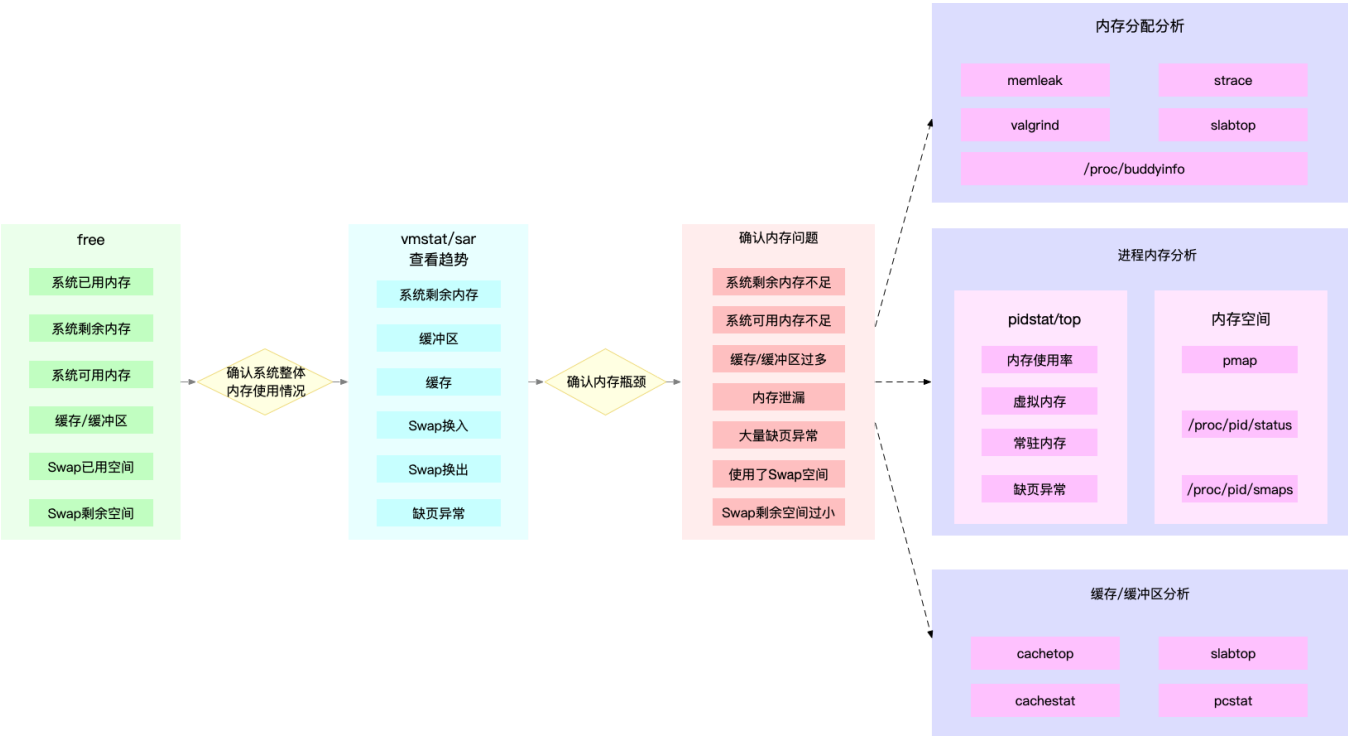
举个最简单的例子，当你看到系统的剩余内存很低时，是不是就说明，进程一定不能申请分配新内存了呢？当然不是，因为进程可以使用的内存，除了剩余内存，还包括了可回收的缓存和缓冲区。

所以，**为了迅速定位内存问题，我通常会先运行几个覆盖面比较大的性能工具，比如 free、top、vmstat、pidstat 等。**

具体的分析思路主要有这几步。

1. 先用 free 和 top，查看系统整体的内存使用情况。
2. 再用 vmstat 和 pidstat，查看一段时间的趋势，从而判断出内存问题的类型。
3. 最后进行详细分析，比如内存分配分析、缓存 / 缓冲区分析、具体进程的内存使用分析等。

同时，我也把这个分析过程画成了一张流程图，你可以保存并打印出来使用。



图中列出了最常用的几个内存工具，和相关的分析流程。其中，箭头表示分析的方向，举几个例子你可能会更容易理解。

第一个例子，当你通过 free，发现大部分内存都被缓存占用后，可以使用 vmstat 或者 sar 观察一下缓存的变化趋势，确认缓存的使用是否还在继续增大。

如果继续增大，则说明导致缓存升高的进程还在运行，那你就能用缓存 / 缓冲区分析工具（比如 cachetop、slabtop 等），分析这些缓存到底被哪里占用。

第二个例子，当你 free 一下，发现系统可用内存不足时，首先要确认内存是否被缓存 / 缓冲区占用。排除缓存 / 缓冲区后，你可以继续用 pidstat 或者 top，定位占用内存最多的进程。

找出进程后，再通过进程内存空间工具（比如 pmap），分析进程地址空间中内存的使用情况就可以了。

第三个例子，当你通过 vmstat 或者 sar 发现内存存在不断增长后，可以分析中是否存在内存泄漏的问题。

比如你可以使用内存分配分析工具 memleak，检查是否存在内存泄漏。如果存在内存泄漏问题，memleak 会为你输出内存泄漏的进程以及调用堆栈。

注意，这个图里我没有列出所有性能工具，只给出了最核心的几个。这么做，一方面，确实不想让大量的工具列表吓到你。

另一方面，希望你能把重心先放在核心工具上，通过我提供的案例和真实环境的实践，掌握使用方法和分析思路。毕竟熟练掌握它们，你就可以解决大多数的内存问题。

小结

在今天的文章中，我带你回顾了常见的内存性能指标，梳理了常见的内存性能分析工具，最后还总结了快速分析内存问题的思路。

虽然内存的性能指标和性能工具都挺多，但理解了内存管理的基本原理后，你会发现它们其实都有一定的关联。梳理出它们的关系，掌握内存分析的套路并不难。

找到内存问题的来源后，下一步就是相应的优化工作了。在我看来，内存调优最重要的就是，保证应用程序的热点数据放到内存中，并尽量减少换页和交换。

常见的优化思路有这么几种。

1. 最好禁止 Swap。如果必须开启 Swap，降低 swappiness 的值，减少内存回收时 Swap 的使用倾向。
2. 减少内存的动态分配。比如，可以使用内存池、大页（HugePage）等。
3. 尽量使用缓存和缓冲区来访问数据。比如，可以使用堆栈明确声明内存空间，来存储需要缓存的数据；或者用 Redis 这类的外部缓存组件，优化数据的访问。
4. 使用 cgroups 等方式限制进程的内存使用情况。这样，可以确保系统内存不会被异常进程耗尽。
5. 通过 /proc/pid/oom_adj，调整核心应用的 oom_score。这样，可以保证即使内存紧张，核心应用也不会被 OOM 杀死。

思考

由于篇幅限制，我在这里只列举了一些我认为的重要内存指标和分析思路。我想，你肯定也碰到过很多内存相关的性能问题。所以，我想请你来聊一聊，你处理过的内存性能问题，你是怎样分析它的瓶颈并解决的呢？这个过程中，遇到了什么坑，或者有什么重要收获吗？

欢迎在留言区跟我讨论，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。

 极客时间

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 20 | 案例篇：为什么系统的Swap变高了？（下）

下一篇 22 | Linux 性能优化答疑（三）

精选留言 (16)

💬 写留言



allan

2019-01-14

👍 4

老师，您在文中说到：
常驻内存是进程实际使用的物理内存，不过，它不包括 Swap 和共享内存。

但是在下一篇答疑的文章中提到：RSS 表示常驻内存，把进程用到的共享内存也算了进去。...

展开 ▼

作者回复: 很细心呀, 这里概念上和工具给出的指标有些出入, 实际使用时要注意工具给出的指标的含义



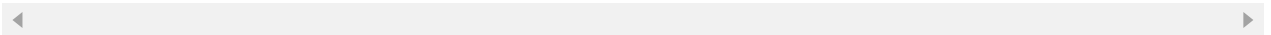
减肥的老郭

2019-01-07

👍 2

老师好, 文中提到的bcc相关的工具都需要版本较高的内核, 但是真实生产都无法满足这个要求, 有别的替代工具么?

作者回复: 有的, 比如内存泄漏使用valgrind、动态跟踪使用systemtap等。这些工具相对来说更难用一些



风飘, 吾独...

2019-01-09

👍 1

打卡

展开 ▾



shuifa

2019-01-07

👍 1

打卡, 学习是一种习惯

展开 ▾



ninuxer

2019-01-07

👍 1

打卡day22

总结篇, 紧跟大佬脚步~



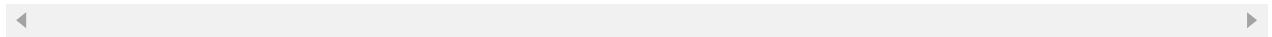
让熊猫飞上...

2019-02-26

👍

你好, 老师, 问一下工具valgrind使用时在分析内存泄露时, 这个工具不能直接使用pid来定位, 只能跟程序文件吗? 感觉没有memleak这个好用

作者回复: 是的，但是 memleak 内核版本要比较新，valgrind 在很旧的内核上也可以用



如果

2019-02-13



day21,打卡

展开 ∨



大坏狐狸

2019-01-25



哈哈 学着后面忘着前面 哎

展开 ∨



shibo

2019-01-18



有干货，物超所值，非常有收获，继续打卡

展开 ∨



xfan

2019-01-12



打卡

展开 ∨



划时代

2019-01-08



打卡总结

展开 ∨



忍...善

2019-01-08



老师，如果是swap缓慢的增长该如何分析呢，每天几十M的速度，sar vmstat几乎看不到si so，程序跑了一个月增长了一个g swap

作者回复: 上监控系统, 各种内存指标增长的趋势是可以看到的



无名老卒

2019-01-07



老师能不能举一些实际的例子, 我是有遇到过线上内存泄露的案例, 每次出现这个问题时, 基本上是无解, 因为基本上都是直接宕机了。这个可有监控方法?

其他的内存使用上的问题, 如缺页、缓存数据用得过多等异常, 基本上没有遇到过, 这类问题, 老师遇到的次数多吗?

展开 ▾

作者回复: 可以把系统和进程的内存指标监控起来, 这样根据历史趋势就可以知道是哪些进程内存泄漏了。

其他的这些也有, 但比较少。实际进程基本上都有一个内存管理模块, 统一管理内存。有问题也是这个模块刚开始写的时候比较多, 后面就会逐渐稳定起来。



我来也

2019-01-07



[D22打卡]

内存的分析方法 和 工具 有了个印象.

等遇到了内存方面的性能问题再来精读吧.

现在我个人精力有限. 只能先抓重点了.

并不是老师的专栏写的不好. 😊😊

展开 ▾

作者回复: 😊



DJH

2019-01-07



倪老师, 我们有一个空闲的docker节点 (CentOS 7.4, 只有k8s node组件, ceph组件和2个空跑的测试pod), 平常只有几十的磁盘iops, 每隔若干天后系统磁盘的iops就会持续

超过3000，并且降不下来。经过iostat检查发现磁盘读写来自于swap卷，奇怪的是系统空闲内存很多，swap使用率也只有一点点（不到1%），主机上也没什么业务。现在每次碰到这个问题只能重启一下解决。请问这种问题有啥解决思路吗？

展开

作者回复: 可能跟NUMA配置有关，可以查下是不是允许跨NODE



大青蛙
2019-01-07



沙发
展开