

30 | 套路篇：如何迅速分析出系统I/O的瓶颈在哪里？

2019-01-28 倪朋飞



朗读：冯永吉

时长14:20 大小13.14M



你好，我是倪朋飞。

前几节学习中，我们通过几个案例，分析了各种常见的 I/O 性能问题。通过这些实战操作，你应该已经熟悉了 I/O 性能问题的分析和定位思路，也掌握了很多 I/O 性能分析的工具。

不过，我想你可能还是会困惑，如果离开专栏，换成其他的实际工作场景，案例中提到的各种性能指标和工具，又该如何选择呢？

上一节最后，我留下了作业，让你自己整理思路。今天，我就带你一起复习，总结一下，如何“快准狠”定位系统的 I/O 瓶颈；并且梳理清楚，在不同场景下，指标工具怎么选，性能瓶颈又该如何定位。

性能指标

老规矩，我们先来回顾一下，描述 I/O 的性能指标有哪些？你可以先回想一下文件系统和磁盘 I/O 的原理，结合下面这张 Linux 系统的 I/O 栈图，凭着记忆和理解自己写一写。或者，你也可以打开前面的文章，挨个复习总结一下。



学了这么久的 I/O 性能知识，一说起 I/O 指标，你应该首先会想到分类描述。我们要区分开文件系统和磁盘，分别用不同指标来描述它们的性能。

文件系统 I/O 性能指标

我们先来看文件系统的情况。

首先，最容易想到的是存储空间的使用情况，包括容量、使用量以及剩余空间等。我们通常也称这些为磁盘空间的使用量，因为文件系统的数据最终还是存储在磁盘上。

不过要注意，这些只是文件系统向外展示的空间使用，而非在磁盘空间的真实用量，因为文件系统的元数据也会占用磁盘空间。

而且，如果你配置了 RAID，从文件系统看到的使用量跟实际磁盘的占用空间，也会因为 RAID 级别的不同而不一样。比方说，配置 RAID10 后，你从文件系统最多也只能看到所有磁盘容量的一半。

除了数据本身的存储空间，还有一个**容易忽略的是索引节点的使用情况，它也包括容量、使用量以及剩余量等三个指标**。如果文件系统中存储过多的小文件，就可能碰到索引节点容量已满的问题。

其次，你应该想到的是前面多次提到过的缓存使用情况，包括页缓存、目录项缓存、索引节点缓存以及各个具体文件系统（如 ext4、XFS 等）的缓存。这些缓存会使用速度更快的内存，用来临时存储文件数据或者文件系统的元数据，从而可以减少访问慢速磁盘的次数。

除了以上这两点，文件 I/O 也是很重要的性能指标，包括 IOPS（包括 r/s 和 w/s）、响应时间（延迟）以及吞吐量（B/s）等。在考察这类指标时，通常还要考虑实际文件的读写情况。比如，结合文件大小、文件数量、I/O 类型等，综合分析文件 I/O 的性能。

诚然，这些性能指标非常重要，但不幸的是，Linux 文件系统并没提供，直接查看这些指标的方法。我们只能通过系统调用、动态跟踪或者基准测试等方法，间接进行观察、评估。

不过，实际上，这些指标在我们考察磁盘性能时更容易见到，因为 Linux 为磁盘性能提供了更详细的数据。

磁盘 I/O 性能指标

接下来，我们就来具体看看，哪些性能指标可以衡量磁盘 I/O 的性能。

在磁盘 I/O 原理的文章中，我曾提到过四个核心的磁盘 I/O 指标。

- **使用率**，是指磁盘忙处理 I/O 请求的百分比。过高的使用率（比如超过 60%）通常意味着磁盘 I/O 存在性能瓶颈。

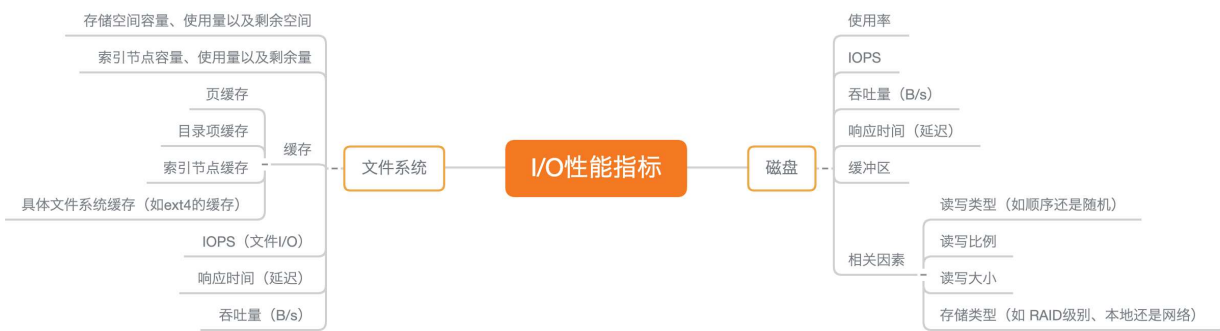
- **IOPS** (Input/Output Per Second) ，是指每秒的 I/O 请求数。
- **吞吐量**，是指每秒的 I/O 请求大小。
- **响应时间**，是指从发出 I/O 请求到收到响应的间隔时间。

考察这些指标时，一定要注意综合 I/O 的具体场景来分析，比如读写类型（顺序还是随机）、读写比例、读写大小、存储类型（有无 RAID 以及 RAID 级别、本地存储还是网络存储）等。

不过，这里有个大忌，就是把不同场景的 I/O 性能指标，直接进行分析对比。这是很常见的一个误区，你一定要避免。

除了这些指标外，在前面 Cache 和 Buffer 原理的文章中，我曾多次提到，**缓冲区 (Buffer)** 也是要重点掌握的指标，它经常出现在内存和磁盘问题的分析中。

文件系统和磁盘 I/O 的这些指标都很有用，需要我们熟练掌握，所以我总结成了一张图，帮你分类和记忆。你可以保存并打印出来，方便随时查看复习，也可以把它当成 I/O 性能分析的“指标筛选”清单使用。



性能工具

掌握文件系统和磁盘 I/O 的性能指标后，我们还要知道，怎样去获取这些指标，也就是搞明白工具的使用问题。

你还记得前面的基础篇和案例篇中，都分别用了哪些工具吗？我们一起回顾下这些内容。

第一，在文件系统的原理中，我介绍了查看文件系统容量的工具 df。它既可以查看文件系统数据的空间容量，也可以查看索引节点的容量。至于文件系统缓存，我们通过

/proc/meminfo、/proc/slabinfo 以及 slabtop 等各种来源，观察页缓存、目录项缓存、索引节点缓存以及具体文件系统的缓存情况。

第二，在磁盘 I/O 的原理中，我们分别用 iostat 和 pidstat 观察了磁盘和进程的 I/O 情况。它们都是最常用的 I/O 性能分析工具。通过 iostat，我们可以得到磁盘的 I/O 使用率、吞吐量、响应时间以及 IOPS 等性能指标；而通过 pidstat，则可以观察到进程的 I/O 吞吐量以及块设备 I/O 的延迟等。

第三，在狂打日志的案例中，我们先用 top 查看系统的 CPU 使用情况，发现 iowait 比较高；然后，又用 iostat 发现了磁盘的 I/O 使用率瓶颈，并用 pidstat 找出了大量 I/O 的进程；最后，通过 strace 和 lsof，我们找出了问题进程正在读写的文件，并最终锁定性能问题的来源——原来是进程在狂打日志。

第四，在磁盘 I/O 延迟的单词热度案例中，我们同样先用 top、iostat，发现磁盘有 I/O 瓶颈，并用 pidstat 找出了大量 I/O 的进程。可接下来，想要照搬上次操作的我们失败了。在随后的 strace 命令中，我们居然没看到 write 系统调用。于是，我们换了一个思路，用新工具 filetop 和 opensnoop，从内核中跟踪系统调用，最终找出瓶颈的来源。

最后，在 MySQL 和 Redis 的案例中，同样的思路，我们先用 top、iostat 以及 pidstat，确定并找出 I/O 性能问题的瓶颈来源，它们正是 mysqld 和 redis-server。随后，我们又用 strace+lsof 找出了它们正在读写的文件。

关于 MySQL 案例，根据 mysqld 正在读写的文件路径，再结合 MySQL 数据库引擎的原理，我们不仅找出了数据库和数据表的名称，还进一步发现了慢查询的问题，最终通过优化索引解决了性能瓶颈。

至于 Redis 案例，根据 redis-server 读写的文件，以及正在进行网络通信的 TCP Socket，再结合 Redis 的工作原理，我们发现 Redis 持久化选项配置有问题；从 TCP Socket 通信的数据中，我们还发现了客户端的不合理行为。于是，我们修改 Redis 配置选项，并优化了客户端使用 Redis 的方式，从而减少网络通信次数，解决性能问题。

一下子复习了这么多，你是不是觉得头昏脑胀，再次想感叹性能工具的繁杂呀！其实，只要把相应的系统工作原理捋明白，工具使用并不难

性能指标和工具的联系

同前面 CPU 和内存板块的学习一样，我建议从指标和工具两个不同维度出发，整理记忆。

- 从 I/O 指标出发，你更容易把性能工具同系统工作原理关联起来，对性能问题有宏观的认识和把握。
- 而从性能工具出发，可以让你更快上手使用工具，迅速找出我们想观察的性能指标。特别是在工具有限的情况下，我们更要充分利用好手头的每一个工具，少量工具也要尽力挖掘出大量信息。

第一个维度，从文件系统和磁盘 I/O 的性能指标出发。换句话说，当你想查看某个性能指标时，要清楚知道，哪些工具可以做到。

根据不同的性能指标，对提供指标的性能工具进行分类和理解。这样，在实际排查性能问题时，你就可以清楚知道，什么工具可以提供你想要的指标，而不是毫无根据地挨个尝试，撞运气。

虽然你不需要把所有相关的工具背下来，但如果能记清楚每个指标对应的工具特性，实际操作起来，一定能更高效、灵活。

这里，我把提供 I/O 性能指标的工具做成了一个表格，方便你梳理关系和理解记忆。你可以把它保存并打印出来，随时记忆。当然，你也可以把它当成一个“指标工具”指南来使用。

根据指标找工具（文件系统和磁盘I/O）

性能指标	工具	说明
文件系统空间容量、使用量以及剩余空间	df	详细文档 见 info coreutils 'df invocation'
索引节点容量、使用量以及剩余量	df	使用 -i 选项
页缓存和可回收Slab缓存	/proc/meminfo sar、vmstat	使用 sar -r 选项
缓冲区	/proc/meminfo sar、vmstat	使用 sar -r 选项
目录项、索引节点以及文件系统的缓存	/proc/slabinfo slabtop	slabtop更直观
磁盘 I/O 使用率、IOPS、吞吐量、响应时间、I/O平均大小以及等待队列长度	iostat sar、dstat	使用 iostat -d -x 或 sar -d 选项
进程I/O大小以及I/O延迟	pidstat iotop	使用 pidstat -d 选项
块设备 I/O 事件跟踪	blktrace	示例：blktrace -d /dev/sda -o- blkparse -i-
进程 I/O 系统调用跟踪	strace	通过系统调用跟踪进程的 I/O
进程块设备I/O大小跟踪	biosnoop biotop	需要安装bcc软件包

下面，我们再来看第二个维度。

第二个维度，从工具出发。也就是当你已经安装了某个工具后，要知道这个工具能提供哪些指标。

这在实际环境中，特别是生产环境中也是非常重要的。因为很多情况下，你并没有权限安装新的工具包，只能最大化地利用好系统已有的工具，而这就需要对它们有足够的了解。

具体到每个工具的使用方法，一般都支持丰富的配置选项。不过不用担心，这些配置选项并不用背下来。你只要知道有哪些工具，以及这些工具的基本功能是什么就够了。真正要用到的时候，通过 `man` 命令，查它们的使用手册就可以了。

同样的，我也将这些常用工具汇总成了一个表格，方便你区分和理解。自然，你也可以当成一个“工具指标”指南使用，需要时查表即可。

根据工具查指标（文件系统和磁盘I/O）

性能工具	性能指标
iostat	磁盘 I/O 使用率、IOPS、吞吐量、响应时间、I/O平均大小以及等待队列长度
pidstat	进程 I/O 大小以及 I/O 延迟
sar	磁盘 I/O 使用率、IOPS、吞吐量以及响应时间
dstat	磁盘 I/O 使用率、IOPS以及吞吐量
iotop	按 I/O 大小对进程排序
slabtop	目录项、索引节点以及文件系统的缓存
/proc/slabinfo	目录项、索引节点以及文件系统的缓存
/proc/meminfo	页缓存和可回收Slab缓存
/proc/diskstats	磁盘的 IOPS、吞吐量以及延迟
/proc/pid/io	进程IOPS、 I/O 大小以及 I/O 延迟
vmstat	缓存和缓冲区用量汇总
blktrace	跟踪块设备I/O事件
biosnoop	跟踪进程的块设备I/O大小
biotop	跟踪进程块I/O并按I/O大小排序
strace	跟踪进程的I/O系统调用
perf	跟踪内核中的I/O事件
df	磁盘空间和索引节点使用量和剩余量
mount	文件系统的挂载路径以及挂载参数
du	目录占用的磁盘空间大小
tune2fs	显示和设置文件系统参数
hdparam	显示和设置磁盘参数

如何迅速分析 I/O 的性能瓶颈

到这里，相信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。

你应该发现了，比起前两个板块，虽然文件系统和磁盘的 I/O 性能指标仍比较多，但核心的性能工具，其实就那么几个。熟练掌握它们，再根据实际系统的现象，并配合系统和应用程序的原理，I/O 性能分析就很清晰了。

不过，不管怎么说，如果每次一碰到 I/O 的性能问题，就把上面提到的所有工具跑一遍，肯定是不现实的。

在实际生产环境中，我们希望的是，尽可能**快**地定位系统的瓶颈，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。

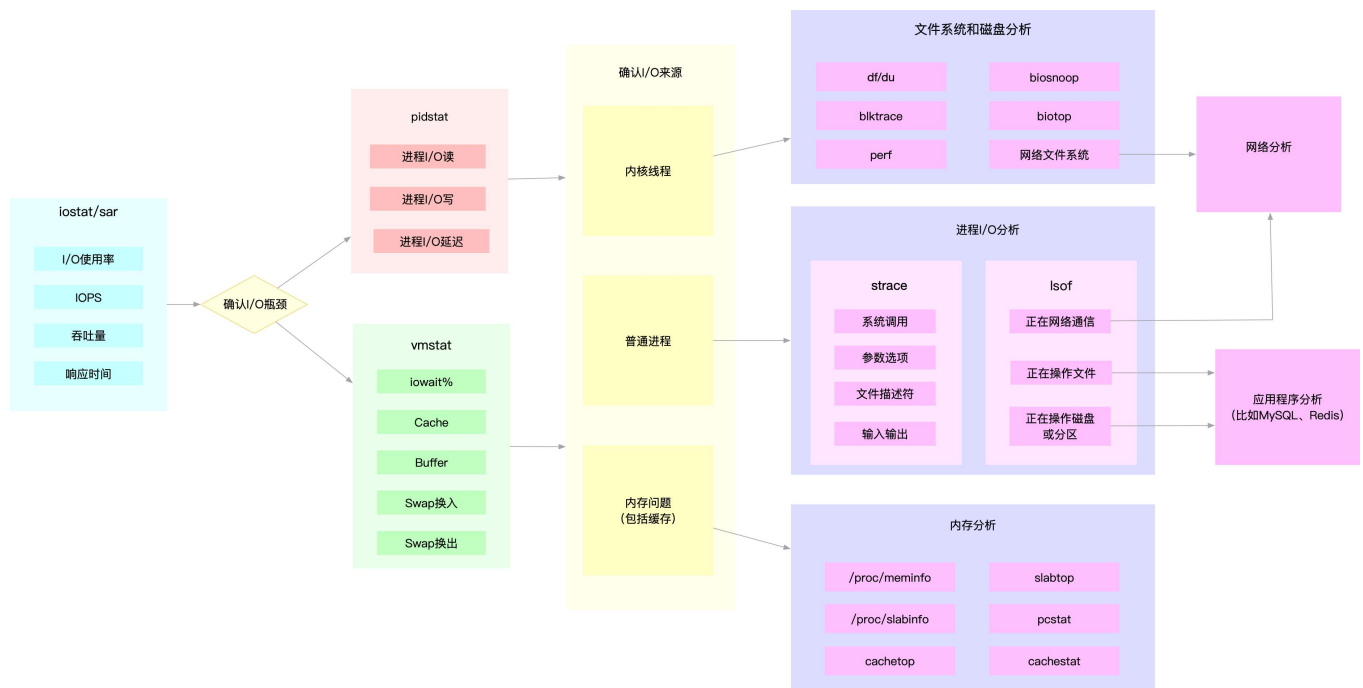
那有没有什么方法，可以又快又准地找出系统的 I/O 瓶颈呢？答案是肯定的。

还是那句话，找关联。多种性能指标间都有一定的关联性，不要完全孤立的看待他们。**想弄清楚性能指标的关联性，就要通晓每种性能指标的工作原理。**这也是为什么我在介绍每个性能指标时，都要穿插讲解相关的系统原理，再次希望你能记住这一点。

以我们前面几期的案例为例，如果你仔细对比前面的几个案例，从 I/O 延迟的案例到 MySQL 和 Redis 的案例，就会发现，虽然这些问题千差万别，但从 I/O 角度来分析，最开始的分析思路基本上类似，都是：

1. 先用 iostat 发现磁盘 I/O 性能瓶颈；
2. 再借助 pidstat，定位出导致瓶颈的进程；
3. 随后分析进程的 I/O 行为；
4. 最后，结合应用程序的原理，分析这些 I/O 的来源。

所以，为了缩小排查范围，我通常会先运行那几个支持指标较多的工具，如 iostat、vmstat、pidstat 等。然后再根据观察到的现象，结合系统和应用程序的原理，寻找下一步的分析方向。我把这个过程画成了一张图，你可以保存下来参考使用。



图中列出了最常用的几个文件系统和磁盘 I/O 性能分析工具，以及相应的分析流程，箭头则表示分析方向。这其中，iostat、vmstat、pidstat 是最核心的几个性能工具，它们也提供了最重要的 I/O 性能指标。举几个例子你可能更容易理解。

例如，在前面讲过的 MySQL 和 Redis 案例中，我们就是通过 iostat 确认磁盘出现 I/O 性能瓶颈，然后用 pidstat 找出 I/O 最大的进程，接着借助 strace 找出该进程正在读写的文件，最后结合应用程序的原理，找出大量 I/O 的原因。

再如，当你用 iostat 发现磁盘有 I/O 性能瓶颈后，再用 pidstat 和 vmstat 检查，可能会发现 I/O 来自内核线程，如 Swap 使用大量升高。这种情况下，你就得进行内存分析了，先找出占用大量内存的进程，再设法减少内存的使用。

另外注意，我在这个图中只列出了最核心的几个性能工具，并没有列出前面表格中的所有工具。这么做，一方面是不想用大量的工具列表吓到你。在学习之初就接触所有核心或小众的工具，不见得是好事。另一方面，也是希望你能先把重心放在核心工具上，毕竟熟练掌握它们，就可以解决大多数问题。

所以，你可以保存下这张图，作为文件系统和磁盘 I/O 性能分析的思路图谱。从最核心的这几个工具开始，通过我提供的那些案例，自己在真实环境里实践，拿下它们。

小结

今天，我们一起复习了常见的文件系统和磁盘 I/O 性能指标，梳理了常见的 I/O 性能观测工具，并建立了性能指标和工具的关联。最后，我们还总结了快速分析 I/O 性能问题的思路。

还是那句话，虽然 I/O 的性能指标很多，相应的性能分析工具也有不少，但熟悉了各指标含义后，你就会自然找到它们的关联。顺着这个思路往下走，掌握常用的分析套路也并不难。

思考

专栏学习中，我只列举了几个最常见的案例，帮你理解文件系统和磁盘 I/O 性能的原理和分析方法。你肯定也碰到过不少其他 I/O 性能问题吧。我想请你一起聊聊，你碰到过哪些 I/O 性能问题呢？你又是怎么分析出它的瓶颈呢？

欢迎在留言区和我讨论，也欢迎你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。

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

[上一篇](#) 29 | 案例篇：Redis响应严重延迟，如何解决？

[下一篇](#) 31 | 套路篇：磁盘 I/O 性能优化的几个思路

精选留言

写留言



黄楚门的世界

2019-01-29

4

一次io性能问题

数据写es，运行一段时间后，发现写入很慢，查io时发现，读的io很高，写的io很少，很奇怪只写数据还没查询，读的io使用率基本接近100%。...

展开



ninuxer

2019-01-28

3

打卡day31

满满的套路，一心只想放假，无心上班，还得熬一周😓



DJH

2019-01-28

👍 2

沙发。。。。



xfan

2019-01-28

👍 1

想听老师的网络部分了，



vvccoe

2019-01-28

👍 1

倪老师，你好。

能详细说明一下IOPS吗？

1.100 IOPS 是指的一秒内，能处理100次IO请求，这个请求包含了寻道定位数据吗？ ...

展开 ▾



划时代

2019-01-28

👍 1

打卡总结，快放假了，依然不能停下前进的脚步。



Orcsir

2019-01-31

👍 0

Flag

2019/01/31



Ender0224

2019-01-30

👍 0

老师，如何判断磁盘是在 顺序读 还是 随机读？

可以使用strace把系统调用都找出来，write是否连续就可以看到了。



小老鼠

2019-01-30

👍 0

第一表倒数第三行没找到blkparse命令



holen

2019-01-30

👍 0

老师，如何判断磁盘是在 顺序读 还是 随机读？



挺直腰板

2019-01-29

👍 0

老师好关闭了swap分区，还会有虚拟内存大小



挺直腰板

2019-01-29

👍 0

老师关闭swap分区，为什么ps命令还有虚拟内存大小



每天晒白牙

2019-01-29

👍 0

【day31打卡】

老师的课程好用心，准备这些案例都会很费时，讲了心法，接下来就是我们自己在工作中的实战了，总之这个课很值。谢谢老师



我来也

2019-01-28

👍 0

[D30打卡]

套路了解了.

其实查找其他方面的问题也都是这样啊.一步一步缩小范围....

展开 ▾



才才

2019-01-28

👍 0

打卡学习。



小豹子

2019-01-28

👍 0

老师你好，如果是oracle rac架构，多个节点使用一个共享存储，如果两个节点同时需要访问共享磁盘，是不是就有一个必需等待。