11 | 套路篇：如何迅速分析出系统CPU的瓶颈在哪里？

2018-12-14 倪朋飞

Linux性能优化实战 进入课程 >

讲述：冯永吉
时长 15:24 大小 14.12M

你好，我是倪朋飞。

前几节里，我通过几个案例，带你分析了各种常见的 CPU 性能问题。通过这些，我相信你对 CPU 的性能分析已经不再陌生和恐惧，起码有了基本的思路，也了解了不少 CPU 性能的分析工具。

不过，我猜你可能也碰到了一个我曾有过的困惑： CPU 的性能指标那么多，CPU 性能分析工具也是一抓一大把，如果离开专栏，换成实际的工作场景，我又该观察什么指标、选择哪个性能工具呢？

不要担心，今天我就以多年的性能优化经验，给你总结出一个“又快又准”的瓶颈定位套路，告诉你在不同场景下，指标工具怎么选，性能瓶颈怎么找。

CPU 性能指标

我们先来回顾下，描述 CPU 的性能指标都有哪些。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，**最容易想到的应该是 CPU 使用率**，这也是实际环境中最常见的一个性能指标。

CPU 使用率描述了非空闲时间占总 CPU 时间的百分比，根据 CPU 上运行任务的不同，又被分为用户 CPU、系统 CPU、等待 I/O CPU、软中断和硬中断等。

- 用户 CPU 使用率，包括用户态 CPU 使用率（user）和低优先级用户态 CPU 使用率（nice），表示 CPU 在用户态运行的时间百分比。用户 CPU 使用率高，通常说明有应用程序比较繁忙。
- 系统 CPU 使用率，表示 CPU 在内核态运行的时间百分比（不包括中断）。系统 CPU 使用率高，说明内核比较繁忙。
- 等待 I/O 的 CPU 使用率，通常也称为 iowait，表示等待 I/O 的时间百分比。iowait 高，通常说明系统与硬件设备的 I/O 交互时间比较长。
- 软中断和硬中断的 CPU 使用率，分别表示内核调用软中断处理程序、硬中断处理程序的时间百分比。它们的使用率高，通常说明系统发生了大量的中断。
- 除了上面这些，还有在虚拟化环境中会用到的窃取 CPU 使用率（steal）和客户 CPU 使用率（guest），分别表示被其他虚拟机占用的 CPU 时间百分比，和运行客户虚拟机的 CPU 时间百分比。

第二个比较容易想到的，应该是平均负载（Load Average），也就是系统的平均活跃进程数。它反应了系统的整体负载情况，主要包括三个数值，分别指过去 1 分钟、过去 5 分钟和过去 15 分钟的平均负载。

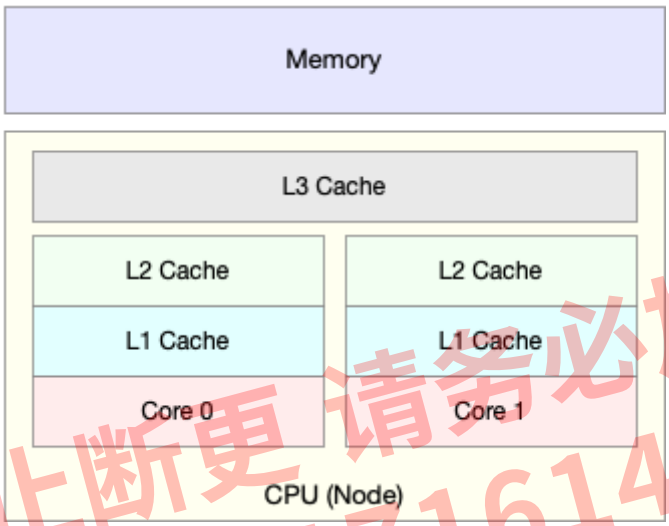
理想情况下，平均负载等于逻辑 CPU 个数，这表示每个 CPU 都恰好被充分利用。如果平均负载大于逻辑 CPU 个数，就表示负载比较重了。

第三个，也是在专栏学习前你估计不太会注意到的，进程上下文切换，包括：

- 无法获取资源而导致的自愿上下文切换；
- 被系统强制调度导致的非自愿上下文切换。

上下文切换，本身是保证 Linux 正常运行的一项核心功能。但过多的上下文切换，会将原本运行进程的 CPU 时间，消耗在寄存器、内核栈以及虚拟内存等数据的保存和恢复上，缩短进程真正运行的时间，成为性能瓶颈。

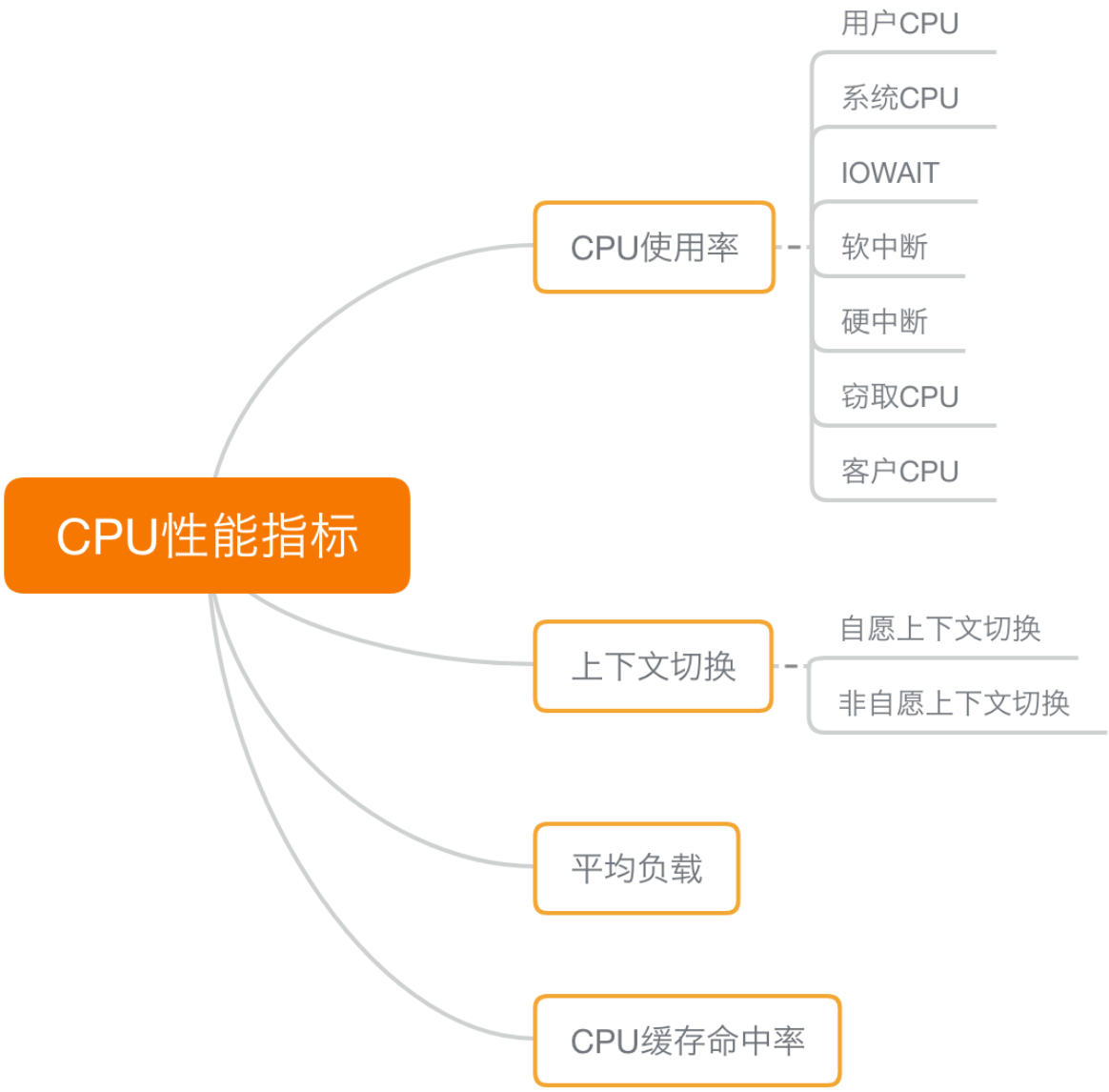
除了上面几种，**还有一个指标，CPU 缓存的命中率**。由于 CPU 发展的速度远快于内存的发展，CPU 的处理速度就比内存的访问速度快得多。这样，CPU 在访问内存的时候，免不了要等待内存的响应。为了协调这两者巨大的性能差距，CPU 缓存（通常是多级缓存）就出现了。



就像上面这张图显示的，CPU 缓存的速度介于 CPU 和内存之间，缓存的是热点的内存数据。根据不断增长的热点数据，这些缓存按照大小不同分为 L1、L2、L3 等三级缓存，其中 L1 和 L2 常用在单核中， L3 则用在多核中。

从 L1 到 L3，三级缓存的大小依次增大，相应的，性能依次降低（当然比内存还是好得多）。而它们的命中率，衡量的是 CPU 缓存的复用情况，命中率越高，则表示性能越好。

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。你可以保存打印下来，随时查看复习，也可以当成 CPU 性能分析的“指标筛选”清单。



性能工具

掌握了 CPU 的性能指标，我们还需要知道，怎样去获取这些指标，也就是工具的使用。

你还记得前面案例都用了哪些工具吗？这里我们也一起回顾一下 CPU 性能工具。

首先，平均负载的案例。我们先用 uptime， 查看了系统的平均负载；而在平均负载升高后，又用 mpstat 和 pidstat ，分别观察了每个 CPU 和每个进程 CPU 的使用情况，进而找出了导致平均负载升高的进程，也就是我们的压测工具 stress。

第二个，上下文切换的案例。我们先用 vmstat ，查看了系统的上下文切换次数和中断次数；然后通过 pidstat ，观察了进程的自愿上下文切换和非自愿上下文切换情况；最后通过

pidstat ，观察了线程的上下文切换情况，找出了上下文切换次数增多的根源，也就是我们的基准测试工具 sysbench。

第三个，进程 CPU 使用率升高的案例。我们先用 top ，查看了系统和进程的 CPU 使用情况，发现 CPU 使用率升高的进程是 php-fpm；再用 perf top ，观察 php-fpm 的调用链，最终找出 CPU 升高的根源，也就是库函数 sqrt() 。

第四个，系统的 CPU 使用率升高的案例。我们先用 top 观察到了系统 CPU 升高，但通过 top 和 pidstat ，却找不出高 CPU 使用率的进程。于是，我们重新审视 top 的输出，又从 CPU 使用率不高但处于 Running 状态的进程入手，找出了可疑之处，最终通过 perf record 和 perf report ，发现原来是短时进程在捣鬼。

另外，对于短时进程，我还介绍了一个专门的工具 execsnoop，它可以实时监控进程调用的外部命令。

第五个，不可中断进程和僵尸进程的案例。我们先用 top 观察到了 iowait 升高的问题，并发现了大量的不可中断进程和僵尸进程；接着我们用 dstat 发现是这是由磁盘读导致的，于是又通过 pidstat 找出了相关的进程。但我们用 strace 查看进程系统调用却失败了，最终还是用 perf 分析进程调用链，才发现根源在于磁盘直接 I/O 。

最后一个，软中断的案例。我们通过 top 观察到，系统的软中断 CPU 使用率升高；接着查看 /proc/softirqs， 找到了几种变化速率较快的软中断；然后通过 sar 命令，发现是网络小包的问题，最后再用 tcpdump ，找出网络帧的类型和来源，确定是一个 SYN FLOOD 攻击导致的。

到这里，估计你已经晕了吧，原来短短几个案例，我们已经用过十几种 CPU 性能工具了，而且每种工具的适用场景还不同呢！这么多的工具要怎么区分呢？在实际的性能分析中，又该怎么选择呢？

我的经验是，从两个不同的维度来理解它们，做到活学活用。

活学活用，把性能指标和性能工具联系起来

第一个维度，从 CPU 的性能指标出发。也就是说，当你要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。

其实，我在前面的案例中已经多次用到了这个思路。比如用 top 发现了软中断 CPU 使用率高后，下一步自然就想知道具体的软中断类型。那在哪里可以观察各类软中断的运行情况呢？当然是 proc 文件系统中的 /proc/softirqs 这个文件。

紧接着，比如说，我们找到的软中断类型是网络接收，那就要继续往网络接收方向思考。系统的网络接收情况是什么样的？什么工具可以查到网络接收情况呢？在我们案例中，用的正是 dstat。

虽然你不需要把所有工具背下来，但如果能理解每个指标对应的工具的特性，一定更高效、更灵活地使用。这里，我把提供 CPU 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，当然，你也可以当成一个“指标工具”指南来使用。

根据指标找工具（CPU性能）		
性能指标	**工具**	**说明**
平均负载	uptime top	uptime最简单； top提供了更全的指标
系统整体CPU使用率	vmstat mpstat top sar /proc/stat	top、vmstat、mpstat 只可以动态查看，而 sar 还可以记录历史数据 /proc/stat是其他性能工具的数据来源
进程CPU使用率	top pidstat ps htop atop	top和ps可以按CPU使用率给进程排序，而pidstat只显示实际用了CPU的进程 htop和atop以不同颜色显示更直观
系统上下文切换	vmstat	除了上下文切换次数， 还提供运行状态和不可中断状态进程的数量
进程上下文切换	pidstat	注意加上 -w 选项
软中断	top /proc/softirqs mpstat	top提供软中断CPU使用率， 而/proc/softirqs和mpstat提供了各种软中断在每个CPU上的运行次数
硬中断	vmstat /proc/interrupts	vmstat提供总的中断次数， 而/proc/interrupts提供各种中断在每个CPU上运行的累积次数
网络	dstat sar tcpdump	dstat和sar提供总的网络接收和发送情况，而tcpdump则是动态抓取正在进行的网络通讯
I/O	dstat sar	dstat和sar都提供了I/O的整体情况
CPU 个数	/proc/cpuinfo lscpu	lscpu更直观
事件剖析	perf execsnoop	perf可以用来分析CPU的缓存以及内核调用链，execsnoop用来监控短时进程

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中已经安装好的工具，这就需要你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（CPU性能）	
性能工具	**CPU性能指标**
uptime	平均负载
top	平均负载、运行队列、整体的CPU使用率以及每个进程的状态和CPU使用率
htop	top增强版，以不同颜色区分不同类型的进程，更直观
atop	CPU、内存、磁盘和网络等各种资源的全面监控
vmstat	系统整体的CPU使用率、上下文切换次数、中断次数， 还包括处于运行和不可中断状态的进程数量
mpstat	每个CPU的使用率和软中断次数
pidstat	进程和线程的CPU使用率、中断上下文切换次数
/proc/softirqs	软中断类型和在每个CPU上的累积中断次数
/proc/interrupts	硬中断类型和在每个CPU上的累积中断次数
ps	每个进程的状态和CPU使用率
pstree	进程的父子关系
dstat	系统整体的CPU使用率
sar	系统整体的CPU使用率，包括可配置的历史数据
strace	进程的系统调用
perf	CPU性能事件剖析，如调用链分析、CPU缓存、CPU调度等
execsnoop	监控短时进程

如何迅速分析 CPU 的性能瓶颈

我相信到这一步，你对 CPU 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 CPU 的性能问题，你都要把上面这些工具全跑一遍，然后再把所有的 CPU 性能指标全分析一遍呢？

你估计觉得这种简单查找的方式，就像是在傻找。不过，别笑话，因为最早的时候我就是这么做的。把所有的指标都查出来再统一分析，当然是可以的，也很可能找到系统的潜在瓶颈。

但是这种方法的效率真的太低了！耗时耗力不说，在庞大的指标体系面前，你一不小心可能就忽略了某个细节，导致白干一场。我就吃过好多次这样的苦。

所以，在实际生产环境中，我们通常都希望尽可能**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。

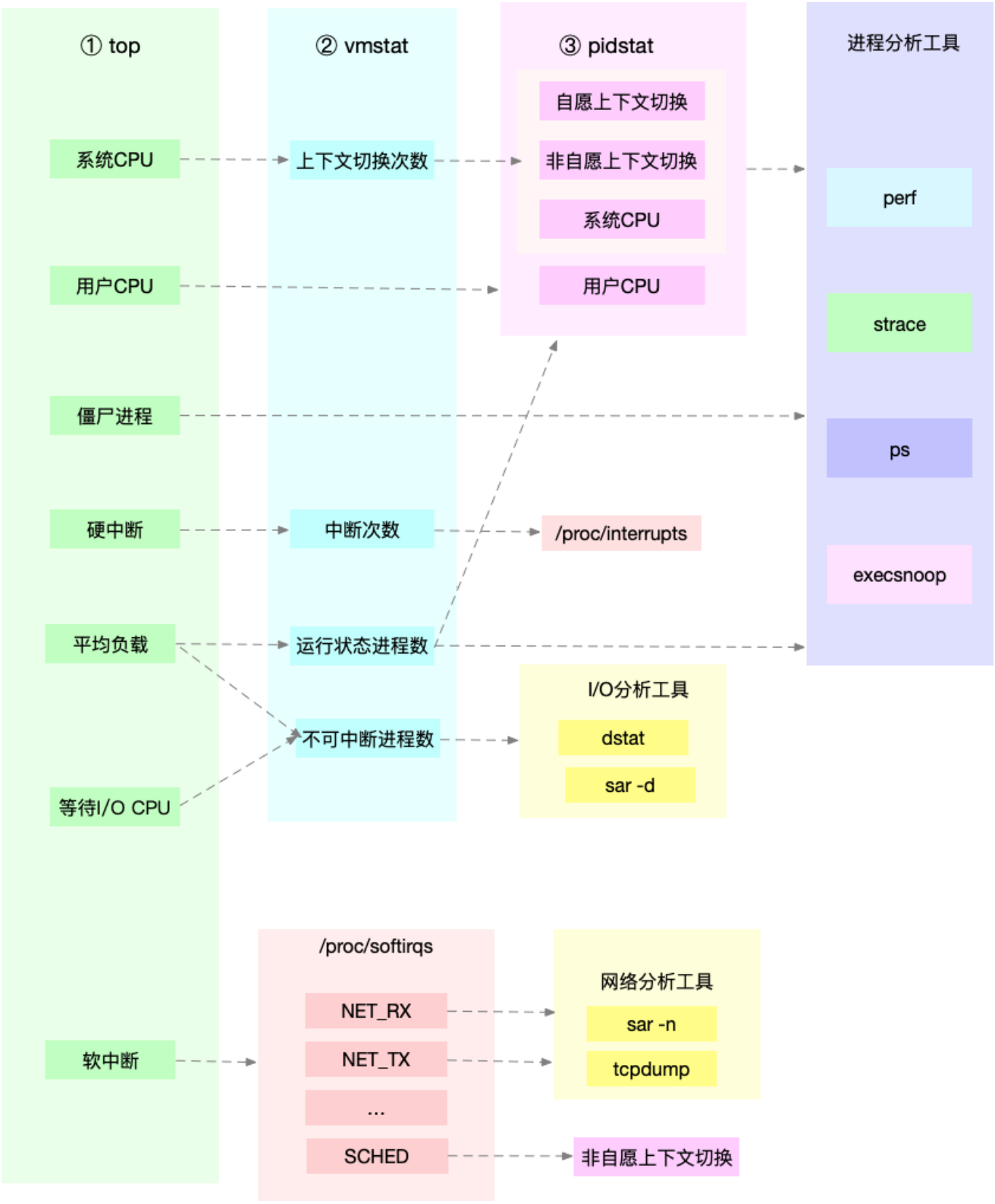
那有没有什么方法，可以又快又准找出系统瓶颈呢？答案是肯定的。

虽然 CPU 的性能指标比较多，但要知道，既然都是描述系统的 CPU 性能，它们就不会是完全孤立的，很多指标间都有一定的关联。**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，希望你能记住这一点。

举个例子，用户 CPU 使用率高，我们应该去排查进程的用户态而不是内核态。因为用户 CPU 使用率反映的就是用户态的 CPU 使用情况，而内核态的 CPU 使用情况只会反映到系统 CPU 使用率上。

你看，有这样的基本认识，我们就可以缩小排查的范围，省时省力。

所以，为了**缩小排查范围，我通常会先运行几个支持指标较多的工具，如 top、vmstat 和 pidstat** 。为什么是这三个工具呢？仔细看看下面这张图，你就清楚了。



这张图里，我列出了 top、vmstat 和 pidstat 分别提供的重要的 CPU 指标，并用虚线表示关联关系，对应出了性能分析下一步的方向。

通过这张图你可以发现，这三个命令，几乎包含了所有重要的 CPU 性能指标，比如：

从 top 的输出可以得到各种 CPU 使用率以及僵尸进程和平均负载等信息。

从 vmstat 的输出可以得到上下文切换次数、中断次数、运行状态和不可中断状态的进程数。

从 pidstat 的输出可以得到进程的用户 CPU 使用率、系统 CPU 使用率、以及自愿上下文切换和非自愿上下文切换情况。

另外，这三个工具输出的很多指标是相互关联的，所以，我也用虚线表示了它们的关联关系，举几个例子你可能会更容易理解。

第一个例子，pidstat 输出的进程用户 CPU 使用率升高，会导致 top 输出的用户 CPU 使用率升高。所以，当发现 top 输出的用户 CPU 使用率有问题时，可以跟 pidstat 的输出做对比，观察是否是某个进程导致的问题。

而找出导致性能问题的进程后，就要用进程分析工具来分析进程的行为，比如使用 strace 分析系统调用情况，以及使用 perf 分析调用链中各级函数的执行情况。

第二个例子，top 输出的平均负载升高，可以跟 vmstat 输出的运行状态和不可中断状态的进程数做对比，观察是哪种进程导致的负载升高。

如果是不可中断进程数增多了，那么就需要做 I/O 的分析，也就是用 dstat 或 sar 等工具，进一步分析 I/O 的情况。

如果是运行状态进程数增多了，那就需要回到 top 和 pidstat，找出这些处于运行状态的到底是什么进程，然后再用进程分析工具，做进一步分析。

最后一个例子，当发现 top 输出的软中断 CPU 使用率升高时，可以查看 /proc/softirqs 文件中各种类型软中断的变化情况，确定到底是哪种软中断出的问题。比如，发现是网络接收中断导致的问题，那就可以继续用网络分析工具 sar 和 tcpdump 来分析。

注意，我在这个图中只列出了最核心的几个性能工具，并没有列出所有。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或核心或小众的工具，不见得是好事。另一方面，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 CPU 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，我带你回忆了常见的 CPU 性能指标，梳理了常见的 CPU 性能观测工具，最后还总结了快速分析 CPU 性能问题的思路。

虽然 CPU 的性能指标很多，相应的性能分析工具也很多，但熟悉了各种指标的含义之后，你就会发现它们其实都有一定的关联。顺着这个思路，掌握常用的分析套路并不难。

思考

由于篇幅限制，我在这里只举了几个最常见的案例，帮你理解 CPU 性能问题的原理和分析方法。你肯定也碰到过很多跟这些案例不同的 CPU 性能问题吧。我想请你一起来聊聊，你碰到过什么不一样的 CPU 性能问题呢？你又是怎么分析出它的瓶颈的呢？

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。

上一篇　10 | 案例篇：系统的软中断CPU使用率升高，我该怎么办？

下一篇　12 | 套路篇：CPU 性能优化的几个思路

精选留言 (62)

写留言

我来也
2018-12-14

10

[D11打卡]
这简直就是小抄😁
好像在我的场景中,使用老师提到的这些工具就够用了.
先把这些性价比高的工具琢磨好了,以后有精力了再去学些小众的.
感谢老师帮我们挑出了重点,哈哈!...
展开

作者回复: 😊

唯美
2018-12-15

9

老师，环境上有个tomcat ，用户cpu 一直是100%， 我用strace -c -p pid 命令，查到是futex(0x402f4900, FUTEX_WAIT, 2, NULL，看到是futex 是linux 的用户空间 和系统空间的一种同步机制，这对于java 编写的tomcat ，怎么会造成这种问题，怎么理解呢？ ，
展开

dongge
2018-12-18

6

这个专栏的这篇文章值一个亿
展开

作者回复: 谢谢😊

Griffin
2018-12-23

3

哈哈哈，只有从一年级开始就当课代表才能总结的这么好。

作者回复: 终于圆了当课代表的梦

每天晒白牙
2018-12-14

3

【D11打卡】
总结篇文章，可以多看，多操作，遇到问题可以按照思路分析，慢慢内化成自己的思路
展开

作者回复:

划时代
2018-12-14

2

整体回顾复习了实践案例，实践练习消化，CPU性能指标关系详解图很赞。

作者回复:

耿长学
2018-12-14

2

查看，分析，找到进程，找到函数
展开

Maxwell
2019-02-27

1

CPU缓存命中率如何查看呢？
展开

作者回复: 内存模块有讲到

李丹鑫
2018-12-31

1

execsnoop这个怎么用呢。指教一下

展开

童年的记忆...
2019-05-19

哎妈呀，本科4年，研究生2年，工作3年，这是我遇到的最优秀的老师了，没有之一。

Kino
2019-05-16

这图可以抵掉无数加班夜。极客时间最贴心讲师！鉴定完毕。

作者回复: 😊

火狼王翼
2019-04-20

dx

展开

maoxiajun
2019-04-16

lesson 11 打卡

展开

三明
2019-03-27

老师你好，我问下用jprofiler统计的一个操作的某一个方法的cpu时间和该方法在整个操作中的耗时有什么区别

展开

作者回复: 除非事先已经测试过，否则单纯只看一个方法的CPU时间可能并不知道它是好还是坏，而要有对比就很容易知道了

echo
2019-03-25

这篇的几张图片做得很棒，很用心的总结。

展开

小小鸟
2019-03-14

打卡，感谢老师的总结 分析思路

展开

AceslupK
2019-03-05

最后一个图是点睛之笔。

展开

Maxwell
2019-02-27

中断和上下文切换过多会导致系统CPU使用率(%sys)升高，对么？

作者回复: 是的

Anna
2019-02-25

老师，如果CPU空闲还有百分之50-68，负载小于等于CPU个数，软中断百分之4-10，这种情况cou是瓶颈吗

作者回复: 一般不是

元天夫
2019-02-17

继续补卡

展开

作者回复: 加油