二

23 分析服务的特性：我的服务应该开多少个进程、多少个线程?

在平时工作中，你应该经常会遇到自己设计的服务即将上线，这就需要从整体评估各项指标，比如应该开多少个容器、需要多少 CPU 呢？另一方面，应该开多少个线程、多少个进程呢？——如果结合服务特性、目标并发量、目标吞吐量、用户可以承受的延迟等分析，又应该如何调整各种参数?

资源分配多了，CPU、内存等资源会产生资源闲置浪费。资源给少了，则服务不能正常工作，甚至雪崩。因此这里就产生了一个性价比问题——这一讲，就以“**我的服务应该开多少个进程、多少个线程**”为引，我们一起讨论如何更好地利用系统的资源。

计算密集型和 I/O 密集型

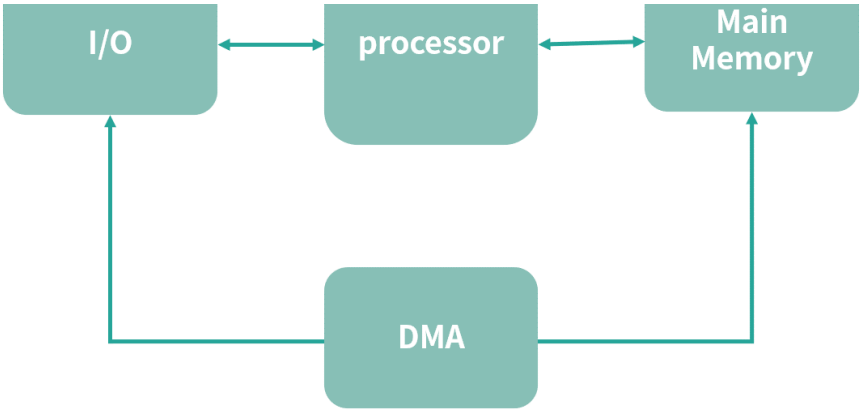
通常我们会遇到两种任务，一种是计算、一种是 I/O。

计算，就是利用 CPU 处理算数运算。比如深度神经网络（Deep Neural Networks），需要大量的计算来计算神经元的激活和传播。再比如，根据营销规则计算订单价格，虽然每一个订单只需要少量的计算，但是在并发高的时候，所有订单累计加起来就需要大量计算。如果一个应用的主要开销在计算上，我们称为**计算密集型**。

再看看 **I/O 密集型**，I/O 本质是对设备的读写。读取键盘的输入是 I/O，读取磁盘（SSD）的数据是 I/O。通常 CPU 在设备 I/O 的过程中会去做其他的事情，当 I/O 完成，设备会给 CPU 一个中断，告诉 CPU 响应 I/O 的结果。比如说从硬盘读取数据完成了，那么硬盘给 CPU 一个中断。如果操作对 I/O 的依赖强，比如频繁的文件操作（写日志、读写数据库等），可以看作**I/O 密集型**。

你可能会有一个疑问，**读取硬盘数据到内存中这个过程，CPU 需不需要一个个字节处理**?

通常是不用的，因为在今天的计算机中有一个叫作 Direct Memory Access（DMA）的模块，这个模块允许硬件设备直接通过 DMA 写内存，而不需要通过 CPU（占用 CPU 资源）。

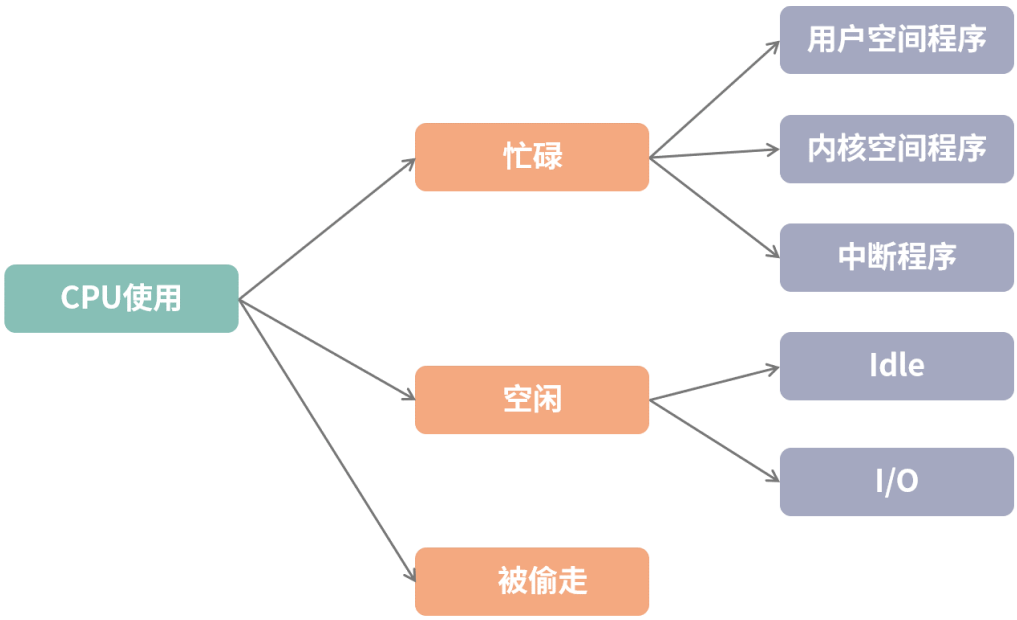


很多情况下我们没法使用 DMA，比如说你想把一个数组拷贝到另一个数组内，执行的 memcpy 函数内部实现就是一个个 byte 拷贝，这种情况也是一种**CPU 密集的操作。**

可见，区分是计算密集型还是 I/O 密集型这件事比较复杂。按说查询数据库是一件 I/O 密集型的事情，但是如果存储设备足够好，比如用了最好的固态硬盘阵列，I/O 速度很快，反而瓶颈会在计算上（对缓存的搜索耗时成为主要部分）。因此，需要一些可衡量指标，来帮助我们确认应用的特性。

衡量 CPU 的工作情况的指标

我们先来看一下 CPU 关联的指标。如下图所示：CPU 有 2 种状态，忙碌和空闲。此外，CPU 的时间还有一种被偷走的情况。



忙碌就是 CPU 在执行有意义的程序，空闲就是 CPU 在执行让 CPU 空闲（空转）的指令。通常让 CPU 空转的指令能耗更低，因此让 CPU 闲置时，我们会使用特别的指令，最终效果和让 CPU 计算是一样的，都可以把 CPU 执行时间填满，只不过这类型指令能耗低一些而已。除了忙碌和空闲，CPU 的时间有可能被宿主偷走，比如一台宿主机器上有 10 个虚拟机，宿主可以偷走给任何一台虚拟机的时间。

如上图所示，CPU 忙碌有 3 种情况：

1. 执行用户空间程序；
2. 执行内核空间程序；
3. 执行中断程序。

CPU 空闲有 2 种情况。

1. CPU 无事可做，执行空闲指令（注意，不能让 CPU 停止工作，而是执行能耗更低的空闲指令）。
2. CPU 因为需要等待 I/O 而空闲，比如在等待磁盘回传数据的中断，这种我们称为 I/O Wait。

下图是我们执行 top 指令看到目前机器状态的快照，接下来我们仔细研究一下这些指标的含义：

```
top - 20:43:08 up 2 days, 18:11,  1 user,  load average: 0.18, 0.09, 0.09
Tasks: 485 total,   1 running, 484 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s):  0.4 us,  0.7 sy,  0.0 ni, 98.8 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0 st
MiB Mem :  15986.4 total,   3452.3 free,   9007.4 used,   3526.8 buff/cache
MiB Swap:   1401.6 total,   1401.6 free,      0.0 used.   6578.9 avail Mem
```


如上图所示，你可以细看下 **%CPU(s)** 开头那一行（第 3 行）：

1. us（user），即用户空间 CPU 使用占比。
2. sy（system），即内核空间 CPU 使用占比。
3. ni（nice），nice 是 Unix 系操作系统控制进程优先级用的。-19 是最高优先级， 20 是最低优先级。这里代表了调整过优先级的进程的 CPU 使用占比。
4. id（idle），闲置的 CPU 占比。
5. wa（I/O Wait），I/O Wait 闲置的 CPU 占比。
6. hi（hardware interrupts），响应硬件中断 CPU 使用占比。

7. si（software interrrupts），响应软件中断 CPU 使用占比。
8. st（stolen），如果当前机器是虚拟机，这个指标代表了宿主偷走的 CPU 时间占比。对于一个宿主多个虚拟机的情况，宿主可以偷走任何一台虚拟机的 CPU 时间。

上面我们用 top 看的是一个平均情况，如果想看所有 CPU 的情况可以 top 之后，按一下 `1` 键。结果如下图所示：

```
top - 21:01:12 up 2 days, 18:29,  1 user,  load average: 0.09, 0.07, 0.08
Tasks: 489 total,   1 running, 488 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu0  :  0.3 us,  0.0 sy,  0.0 ni, 99.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu1  :  0.3 us,  0.3 sy,  0.0 ni, 99.3 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu2  :  0.0 us,  1.3 sy,  0.0 ni, 98.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu3  :  0.3 us,  4.2 sy,  0.0 ni, 95.5 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu4  :  0.0 us,  0.3 sy,  0.0 ni, 99.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu5  :  0.3 us,  0.3 sy,  0.0 ni, 99.3 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu6  :  1.3 us,  1.7 sy,  0.0 ni, 97.0 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu7  :  0.3 us,  1.0 sy,  0.0 ni, 98.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu8  :  0.0 us,  0.3 sy,  0.0 ni, 99.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu9  :  0.0 us,  0.0 sy,  0.0 ni,100.0 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu10 :  0.0 us,  0.3 sy,  0.0 ni, 99.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu11 :  0.3 us,  1.7 sy,  0.0 ni, 98.0 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu12 :  0.3 us,  0.0 sy,  0.0 ni, 99.7 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu13 :  0.0 us,  0.0 sy,  0.0 ni,100.0 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu14 :  1.0 us,  1.0 sy,  0.0 ni, 98.0 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
%Cpu15 :  0.3 us,  1.7 sy,  0.0 ni, 98.0 id,  0.0 wa,  0.0 hi,  0.0 si,  0.0
```


当然，对性能而言，CPU 数量也是一个重要因素。可以看到我这台虚拟机一共有 16 个核心。

负载指标

上面的指标非常多，在排查问题的时候，需要综合分析。其实还有一些更简单的指标，比如上图中 top 指令返回有一项叫作 `load average` ——平均负载。 负载可以理解成某个时刻正在排队执行的进程数除以 CPU 核数。平均负载需要多次采样求平均值。 如果这个值大于 `1`，说明 CPU 相当忙碌。因此如果你想发现问题，可以先检查这个指标。

具体来说，如果平均负载很高，CPU 的 I/O Wait 也很高， 那么就说明 CPU 因为需要大量等待 I/O 无法处理完成工作。产生这个现象的原因可能是：线上服务器打日志太频繁，读写数据库、网络太频繁。你可以考虑进行批量读写优化。

到这里，你可能会有一个疑问：为什么批量更快呢？我们知道一次写入 1M 的数据，就比写一百万次一个 byte 快。因为前者可以充分利用 CPU 的缓存、复用发起写操作程序的连接和缓冲区等。

如果想看更多 `load average`，你可以看 `/proc/loadavg` 文件。

通信量（Traffic）

如果怀疑瓶颈发生在网络层面，或者想知道当前网络状况。可以查看 `/proc/net/dev`，下图是在我的虚拟机上的查询结果：

```
Inter-|   Receive                                                |  Transmit
 face |bytes    packets errs drop fifo frame compressed multicast|bytes    p
ackets errs drop fifo colls carrier compressed
    lo: 125976874 2086300    0    0    0     0          0         0 12597687
4 2086300    0    0    0     0       0          0
 ens33: 180166835  204630    0    0    0     0          0         0 16693607
  117887    0    0    0     0       0          0
```


我们来一起看一下上图中的指标。表头分成了 3 段：

- Interface（网络接口），可以理解成网卡
- Receive：接收的数据
- Transmit：发送的数据

然后再来看具体的一些参数：

- byte 是字节数
- package 是封包数
- erros 是错误数
- drop 是主动丢弃的封包，比如说时间窗口超时了
- fifo: FIFO 缓冲区错误（**如果想了解更多可以关注我即将推出的《计算机网络》专栏**）
- frame: 底层网络发生了帧错误，代表数据出错了

如果你怀疑自己系统的网络有故障，可以查一下通信量部分的参数，相信会有一定的收获。

衡量磁盘工作情况

有时候 I/O 太频繁导致磁盘负载成为瓶颈，这个时候可以用 `iotop` 指令看一下磁盘的情况，如图所示：

```
Total DISK READ:         0.00 B/s | Total DISK WRITE:      1234.18 K/s
Current DISK READ:       0.00 B/s | Current DISK WRITE:        0.00 B/s
```

```
    TID  PRIO  USER     DISK READ  DISK WRITE  SWAPIN     IO>    COMMAND
  92328 be/4 ramroll      0.00 B/s 1234.18 K/s  0.00 %  0.00 % sh write.sh
      1 be/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % init a~oprompt
      2 be/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [kthreadd]
      3 be/0 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [rcu_gp]
      4 be/0 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [rcu_par_gp]
      6 be/0 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [kwork~blockd]
      9 be/0 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [mm_percpu_wq]
     10 be/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [ksoftirqd/0]
     11 be/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [rcu_sched]
     12 rt/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [migration/0]
     13 rt/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [idle_~ject/0]
     14 be/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [cpuhp/0]
     15 be/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [cpuhp/1]
     16 rt/4 root         0.00 B/s    0.00 B/s  0.00 %  0.00 % [idle_~ject/1]
```


上图中是磁盘当前的读写速度以及排行较靠前的进程情况。

另外，如果磁盘空间不足，可以用 `df` 指令：

```
ramroll@u1:~$ df
Filesystem     1K-blocks     Used Available Use% Mounted on
udev             8156608        0   8156608   0% /dev
tmpfs            1637016     1960   1635056   1% /run
/dev/sda5       30313412 16153032  12597500  57% /
tmpfs            8185060   231224   7953836   3% /dev/shm
tmpfs               5120        4      5116   1% /run/lock
tmpfs            8185060        0   8185060   0% /sys/fs/cgroup
/dev/loop0         56704    56704         0 100% /snap/core18/1885
/dev/loop1         56704    56704         0 100% /snap/core18/1932
/dev/loop2        166784   166784         0 100% /snap/gnome-3-28-1804/145
/dev/loop3        223232   223232         0 100% /snap/gnome-3-34-1804/60
/dev/loop4         44288    44288         0 100% /snap/snap-store/415
/dev/loop5         63616    63616         0 100% /snap/gtk-common-themes/150
```


其实 df 是按照挂载的文件系统计算空间。图中每一个条目都是一个文件系统。有的文件系统直接挂在了一个磁盘上，比如图中的 `/dev/sda5` 挂在了 `/` 上，因此这样可以看到各个磁盘的使用情况。

如果想知道更细粒度的磁盘 I/O 情况，可以查看 `/proc/diskstats` 文件。 这里有 20 多个指标我就不细讲了，如果你将来怀疑自己系统的 I/O 有问题，可以查看这个文件，并阅读相关手册。

监控平台

Linux 中有很多指令可以查看服务器当前的状态，有 CPU、I/O、通信、Nginx 等维度。如

果去记忆每个指令自己搭建监控平台，会非常复杂。这里你可以用市面上别人写好的开源系统帮助你收集这些资料。 比如 Taobao System Activity Report（tsar）就是一款非常好用的工具。它集成了大量诸如上面我们使用的工具，并且帮助你定时收集服务器情况，还能记录成日志。你可以用 logstash 等工具，及时将日志收集到监控、分析服务中，比如用 ELK 技术栈。

决定进程/线程数量

最后我们讲讲如何决定线程、进程数量。 上面观察指标是我们必须做的一件事情，通过观察上面的指标，可以对我们开发的应用有一个基本的认识。

下面请你思考一个问题：**如果线程或进程数量 = CPU 核数，是不是一个好的选择**?

有的应用不提供线程，比如 PHP 和 Node.js。

Node.js 内部有一个事件循环模型，这个模型可以理解成协程（Coroutine），相当于大量的协程复用一个进程，可以达到比线程池更高的效率（减少了线程切换）。PHP 模型相对则差得多。Java 是一个多线程的模型，线程和内核线程对应比 1：1；Go 有轻量级线程，多个轻量级线程复用一个内核级线程。

以 Node.js 为例，如果现在是 8 个核心，那么开 8 个 Node 进程，是不是就是最有效利用 CPU 的方案呢？ 乍一看——8 个核、8 个进程，每个进程都可以使用 1 个核，CPU 利用率很高——其实不然。 你不要忘记，CPU 中会有一部分闲置时间是 I/O Wait，这个时候 CPU 什么也不做，主要时间用于等待 I/O。

假设我们应用执行的期间只用 50% CPU 的执行时间，其他 50% 是 I/O Wait。那么 1 个 CPU 同时就可以执行两个进程/线程。

我们考虑一个更一般的模型，如果你的应用平均 I/O 时间占比是 P，假设现在内存中有 n 个这样的线程，那么 CPU 的利用率是多少呢?

假设我们观察到一个应用 （进程），I/O 时间占比是 P，那么可以认为这个进程等待 I/O 的概率是 P。那么如果有 n 个这样的线程，n 个线程都在等待 I/O 的概率是Pn。而满负荷下，CPU 的利用率就是 CPU 不能空转——也就是不能所有进程都在等待 I/O。因此 CPU 利用率 = 1 -Pn。

理论上，如果 P = 50%，两个这样的进程可以达到满负荷。 但是从实际出发，何时运行线程是一个分时的调度行为，实际的 CPU 利用率还要看开了多少个这样的线程，如果是 2 个，那么还是会有一部分闲置资源。

因此在实际工作中，开的线程、进程数往往是超过 CPU 核数的。**你可能会问，具体是多少**

最好呢？——这里没有具体的算法，要以实际情况为准。比如：你先以 CPU 核数 3 倍的线程数开始，然后进行模拟真实线上压力的测试，分析压测的结果。

- 如果发现整个过程中，瓶颈在 CPU，比如 `load average` 很高，那么可以考虑优化 I/O Wait，让 CPU 有更多时间计算。
- 当然，如果 I/O Wait 优化不动了，算法都最优了，就是磁盘读写速度很高达到瓶颈，可以考虑延迟写、延迟读等等技术，或者优化减少读写。
- 如果发现 idle 很高，CPU 大面积闲置，就可以考虑增加线程。

总结

那么通过这节课的学习，你现在可以尝试来回答本节关联的面试题目：我的服务应该开多少个进程、多少个线程？

【解析】 计算密集型一般接近核数，如果负载很高，建议留一个内核专门给操作系统。I/O 密集型一般都会开大于核数的线程和进程。 但是无论哪种模型，都需要实地压测，以压测结果分析为准；另一方面，还需要做好监控，观察服务在不同并发场景的情况，避免资源耗尽。

然后具体语言的特性也要考虑，Node.js 每个进程内部实现了大量类似协程的执行单元，因此 Node.js 即便在 I/O 密集型场景下也可以考虑长期使用核数 -1 的进程模型。而 Java 是多线程模型，线程池通常要大于核数才能充分利用 CPU 资源。

所以核心就一句，眼见为实，上线前要进行压力测试。

上一页 下一页