

## 09 | 基础篇：怎么理解Linux软中断？

2018-12-10 倪朋飞



讲述：冯永吉

时长 09:35 大小 8.79M



你好，我是倪朋飞。

上一期，我用一个不可中断进程的案例，带你学习了 `iowait`（也就是等待 I/O 的 CPU 使用率）升高时的分析方法。这里你要记住，进程的不可中断状态是系统的一种保护机制，可以保证硬件的交互过程不被意外打断。所以，短时间的不可中断状态是很正常的。

但是，当进程长时间都处于不可中断状态时，你就得当心了。这时，你可以使用 `dstat`、`pidstat` 等工具，确认是不是磁盘 I/O 的问题，进而排查相关的进程和磁盘设备。关于磁盘 I/O 的性能问题，你暂且不用专门去背，我会在后续的 I/O 部分详细介绍，到时候理解了也就记住了。

其实除了 `iowait`，软中断（`softirq`）CPU 使用率升高也是最常见的一种性能问题。接下来的两节课，我们就来学习软中断的内容，我还会以最常见的反向代理服务器 `Nginx` 的案例，带你分析这种情况。

## 从“取外卖”看中断

说到中断，我在前面[关于“上下文切换”的文章](#)，简单说过中断的含义，先来回顾一下。中断是系统用来响应硬件设备请求的一种机制，它会打断进程的正常调度和执行，然后调用内核中的中断处理程序来响应设备的请求。

你可能要问了，为什么要有中断呢？我可以举个生活中的例子，让你感受一下中断的魅力。

比如说你订了一份外卖，但是不确定外卖什么时候送到，也没有别的方法了解外卖的进度，但是，配送员送外卖是不等人的，到了你这儿没人取的话，就直接走人了。所以你能只能苦苦等着，时不时去门口看看外卖送到没，而不能干其他事情。

不过呢，如果在订外卖的时候，你就跟配送员约定好，让他送到后给你打个电话，那你就不用苦苦等待了，就可以去忙别的事情，直到电话一响，接电话、取外卖就可以了。

这里的“打电话”，其实就是一个中断。没接到电话的时候，你可以做其他的事情；只有接到了电话（也就是发生中断），你才要进行另一个动作：取外卖。

这个例子你就可以发现，**中断其实是一种异步的事件处理机制，可以提高系统的并发处理能力。**

由于中断处理程序会打断其他进程的运行，所以，**为了减少对正常进程运行调度的影响，中断处理程序就需要尽可能快地运行。**如果中断本身要做的事情不多，那么处理起来也不会有太大问题；但如果中断要处理的事情很多，中断服务程序就有可能要运行很长时间。

特别是，中断处理程序在响应中断时，还会临时关闭中断。这就会导致上一次中断处理完成之前，其他中断都不能响应，也就是说中断有可能会丢失。

那么还是以取外卖为例。假如你订了 2 份外卖，一份主食和一份饮料，并且是由 2 个不同的配送员来配送。这次你不用时时等待着，两份外卖都约定了电话取外卖的方式。但是，问题又来了。

当第一份外卖送到时，配送员给你打了个长长的电话，商量发票的处理方式。与此同时，第二个配送员也到了，也想给你打电话。

但是很明显，因为电话占线（也就是关闭了中断响应），第二个配送员的电话是打不通的。所以，第二个配送员很可能试几次后就走掉了（也就是丢失了一次中断）。

## 软中断

如果你弄清楚了“取外卖”的模式，那对系统的中断机制就很容易理解了。事实上，为了解决中断处理程序执行过长和中断丢失的问题，Linux 将中断处理过程分成了两个阶段，也就是**上半部和下半部**：

**上半部用来快速处理中断**，它在中断禁止模式下运行，主要处理跟硬件紧密相关的或时间敏感的工作。

**下半部用来延迟处理上半部未完成的工作，通常以内核线程的方式运行。**

比如说前面取外卖的例子，上半部就是你接听电话，告诉配送员你已经知道了，其他事儿见面再说，然后电话就可以挂断了；下半部才是取外卖的动作，以及见面后商量发票处理的动作。

这样，第一个配送员不会占用你太多时间，当第二个配送员过来时，照样能正常打通你的电话。

除了取外卖，我再举个最常见的网卡接收数据包的例子，让你更好地理解。

网卡接收到数据包后，会通过**硬件中断**的方式，通知内核有新的数据到了。这时，内核就应该调用中断处理程序来响应它。你可以自己先想一下，这种情况下的上半部和下半部分别负责什么工作呢？

对上半部来说，既然是快速处理，其实就是要把网卡的数据读到内存中，然后更新一下硬件寄存器的状态（表示数据已经读好了），最后再发送一个**软中断**信号，通知下半部做进一步的处理。

而下半部被软中断信号唤醒后，需要从内存中找到网络数据，再按照网络协议栈，对数据进行逐层解析和处理，直到把它送给应用程序。

所以，这两个阶段你也可以这样理解：

上半部直接处理硬件请求，也就是我们常说的硬中断，特点是快速执行；

而下半部则是由内核触发，也就是我们常说的软中断，特点是延迟执行。

实际上，上半部会打断 CPU 正在执行的任务，然后立即执行中断处理程序。而下半部以内核线程的方式执行，并且每个 CPU 都对应一个软中断内核线程，名字为 “ksoftirqd/CPU 编号”，比如说，0 号 CPU 对应的软中断内核线程的名字就是 ksoftirqd/0。

不过要注意的是，软中断不只包括了刚刚所讲的硬件设备中断处理程序的下半部，一些内核自定义的事件也属于软中断，比如内核调度和 RCU 锁（Read-Copy Update 的缩写，RCU 是 Linux 内核中最常用的锁之一）等。

那要怎么知道你的系统里有哪些软中断呢？

## 查看软中断和内核线程

不知道你还记不记得，前面提到过的 proc 文件系统。它是一种内核空间和用户空间进行通信的机制，可以用来查看内核的数据结构，或者用来动态修改内核的配置。其中：

`/proc/softirqs` 提供了软中断的运行情况；

`/proc/interrupts` 提供了硬中断的运行情况。

运行下面的命令，查看 `/proc/softirqs` 文件的内容，你就可以看到各种类型软中断在不同 CPU 上的累积运行次数：

 复制代码

```
1 $ cat /proc/softirqs
2           CPU0           CPU1
3     HI:                0            0
4     TIMER:            811613        1972736
5     NET_TX:             49            7
6     NET_RX:           1136736       1506885
7     BLOCK:              0            0
8     IRQ_POLL:          0            0
9     TASKLET:           304787        3691
10    SCHED:             689718       1897539
11    HRTIMER:           0            0
12    RCU:               1330771       1354737
```

在查看 `/proc/softirqs` 文件内容时，你要特别注意以下这两点。

第一，要注意软中断的类型，也就是这个界面中第一列的内容。从第一列你可以看到，软中断包括了 10 个类别，分别对应不同的工作类型。比如 `NET_RX` 表示网络接收中断，而 `NET_TX` 表示网络发送中断。

第二，要注意同一种软中断在不同 CPU 上的分布情况，也就是同一行的内容。正常情况下，同一种中断在不同 CPU 上的累积次数应该差不多。比如这个界面中，`NET_RX` 在 `CPU0` 和 `CPU1` 上的中断次数基本是同一个数量级，相差不大。

不过你可能发现，`TASKLET` 在不同 CPU 上的分布并不均匀。`TASKLET` 是最常用的软中断实现机制，每个 `TASKLET` 只运行一次就会结束，并且只在调用它的函数所在的 CPU 上运行。

因此，使用 `TASKLET` 特别简便，当然也会存在一些问题，比如说由于只在一个 CPU 上运行导致的调度不均衡，再比如因为不能在多个 CPU 上并行运行带来了性能限制。

另外，刚刚提到过，软中断实际上是以内核线程的方式运行的，每个 CPU 都对应一个软中断内核线程，这个软中断内核线程就叫做 `ksoftirqd/CPU 编号`。那要怎么查看这些线程的运行状况呢？

其实用 `ps` 命令就可以做到，比如执行下面的指令：

 复制代码

```
1 $ ps aux | grep softirq
2 root      7  0.0  0.0    0   0 ?        S   Oct10   0:01 [ksoftirqd/0]
3 root     16  0.0  0.0    0   0 ?        S   Oct10   0:01 [ksoftirqd/1]
```

注意，这些线程的名字外面都有中括号，这说明 `ps` 无法获取它们的命令行参数（`cmline`）。一般来说，`ps` 的输出中，名字括在中括号里的，一般都是内核线程。

## 小结

Linux 中的中断处理程序分为上半部和下半部：

上半部对应硬件中断，用来快速处理中断。

下半部对应软中断，用来异步处理上半部未完成的工作。

Linux 中的软中断包括网络收发、定时、调度、RCU 锁等各种类型，可以通过查看 `/proc/softirqs` 来观察软中断的运行情况。

## 思考

最后，我想请你一起聊聊，你是怎么理解软中断的？你有没有碰到过因为软中断出现的性能问题？你又是怎么分析它们的瓶颈的呢？你可以结合今天的内容，总结自己的思路，写下自己的问题。

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 08 | 案例篇：系统中出现大量不可中断进程和僵尸进程怎么办？（下）

下一篇 10 | 案例篇：系统的软中断CPU使用率升高，我该怎么办？

## 精选留言 (59)

写留言



**我来也**

2018-12-10

32

[D9打卡]

=====

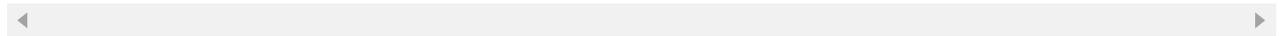
问题:怎么理解软中断?

我的理解比较简单粗暴,硬中断是硬件产生的,比如键盘、鼠标的输入,硬盘的写入读取、网卡有数据了;软中断是软件产生的,比如程序内的定时器、[文中提到的RCU锁]。...

展开

作者回复: 嗯嗯,已经是很有经验的老手了☺

大多数情况下 root 权限都是必须的,还是准备个root权限的环境实践吧



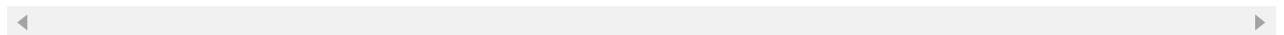
**Linuxer**

2018-12-10

17

经常听同事说大量的网络小包会导致性能问题,一直不太理解,从今天的课程来看,是不是大量的小网络包会导致频繁的硬中断和软中断呢?希望老师给予指点,谢谢

作者回复: 正解



**Eric**

2018-12-10

7

中断不是可以嵌套的吗?在中断处理程序中可以开中断以响应更高优先级的中断,为什么第二次中断会丢失?是指中断隐指令过程吗???



**ninuxer**

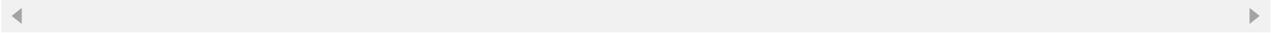
2018-12-10

6

打卡, day10

用外卖的例子,延伸到网卡的例子,非常形象, 👍

作者回复: 🖱



**每天晒白牙**

2018-12-10

👍 6

【D9打卡】

主题:软中断

中断:系统用来响应硬件设备请求的一种机制，会打断进程的正常调度和执行，通过调用内核中的中断处理程序来响应设备的请求。

1.中断是一种异步的事件处理机制，能提高系统的并发处理能力...

展开 ▾

作者回复: 🖱



**冷静**

2019-01-13

👍 2

中断不会丢失的，因为有中断控制器，它会pending住所有外部中断。除非pending住的那个中断，CPU还没来得及处理，这时又来了一个同样的中断，这个中断才会丢失。还有就是自linux-2.6.3x开始就完全不支持中断嵌套了。

展开 ▾



**好好学习**

2018-12-10

👍 2

期待第二篇，我有个业务48核心，怎么调整都是只用了前面24核心的软中断，期待更新

展开 ▾



**Glen**

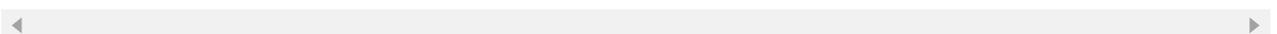
2018-12-17

👍 1

留言里也有很多资深的同学啊

展开 ▾

作者回复: 😊



**Leon**

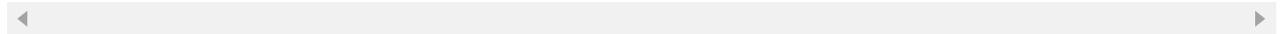
2018-12-11

👍 1

老师，我开发了一个日志搜集系统，上面需要压测，但是我不知道要测试哪些性能指标，这个应用的性能指标和优化和压测后面的课程会讲吗

作者回复: 可以从两个方面考虑，一个是应用的指标，比如吞吐量、响应时间等等，另外一个是一个系统的资源使用情况，比如CPU、I/O等等。

性能的优化方法和基准测试会讲的。

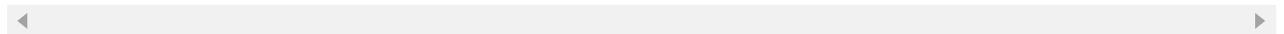
**好说**

2018-12-10

👍 1

老师，生产环境的服务器的磁盘数量一般有很多，每块盘读写都比较高，有某块盘特别高，这个时候想要获取哪个进程使得这块盘IO特别高要怎么分析呢

作者回复: 先留个悬念☺️，I/O部分会讲的

**胡萝卜**

2018-12-10

👍 1

打卡

展开 ▾

**Days**

2018-12-10

👍 1

而下半部以内核线程的方式执行，并且每个 CPU 都对应一个软中断内核线程，这里我觉得不是所有软中断直接被ksoftirqd处理，只有大量软中断产生，或者处理软终端超时才唤醒ksoftirqd线程

展开 ▾

**solar**

2018-12-10

👍 1

打卡，又学到一些很细节的东西，感动

展开 ∨

作者回复: 😊



**湖湘志**

2018-12-10

👍 1

D9

展开 ∨



**疯码**

2019-03-03

👍

这例子生动

展开 ∨



**李亮亮**

2019-02-20

👍

老师，我想问下上半部跟下半部是运行在同一个内核线程的吗？

展开 ∨

作者回复: 不一定，看具体的中断实现



**Vincent**

2019-02-20

👍

最开始的中断缺点是处理中断信号时不能响应别的中断信号。所以Linux处理中断 是分了两部分去响应中断 上半部分是硬中断 响应快 下半部分是软中断内核处理响应慢 采用了异步的方式 所以 上部分将中断信号发送给内核的时候（即软中断）必然会先存到一个数据队列中。下半部分是从队列中去取的数据。所以 在Linux发生了中断 必然是硬中断和软中断同时出现的。 不知道理解的对不对。

展开 ∨

作者回复: 不是所有的中断都会分为上半部和下半部，还有一些是纯软中断



**Maxwell**

2019-02-12



我的环境也是ubuntu,使用 `cat /proc/softirqs`查看,为什么显示了很多CPU,有128个?

root@kaipule-virtual-machine:~# `cat /proc/softirqs`

```
CPU0 CPU1 CPU2 CPU3 CPU4 CPU5 CPU6 CPU7 CPU8 CPU9 CPU10
CPU11 CPU12 CPU13 CPU14 CPU15 CPU16 CPU17 CPU18 CPU19 CPU20 CPU21
CPU22 CPU23 CPU24 CPU25 CPU26 CPU27 CPU28 CPU29 CPU30 CPU31 CPU32...
```

展开 ▾

作者回复: 这应该是系统版本的问题,只观察系统中实际存在的CPU就可以了(其他的都是0)



**maoxiajun**

2019-01-06



lesson9打卡

展开 ▾



**花开蝶自来**

2018-12-29



D3

展开 ▾