30+张图讲解：Golang调度器GMP原理与调度全分析

mp.weixin.qq.com/s

本文作者：刘丹冰Aceld 公众号同名

该文章主要详细具体的介绍Goroutine调度器过程及原理，可以对Go调度器的详细调度过程有一个清晰的理解，花费4天时间作了30+张图(推荐收藏)，包括如下几个章节。

第一章

Golang调度器的由来

第二章

Goroutine调度器的GMP模型及设计思想

第三章

Goroutine调度场景过程全图文解析

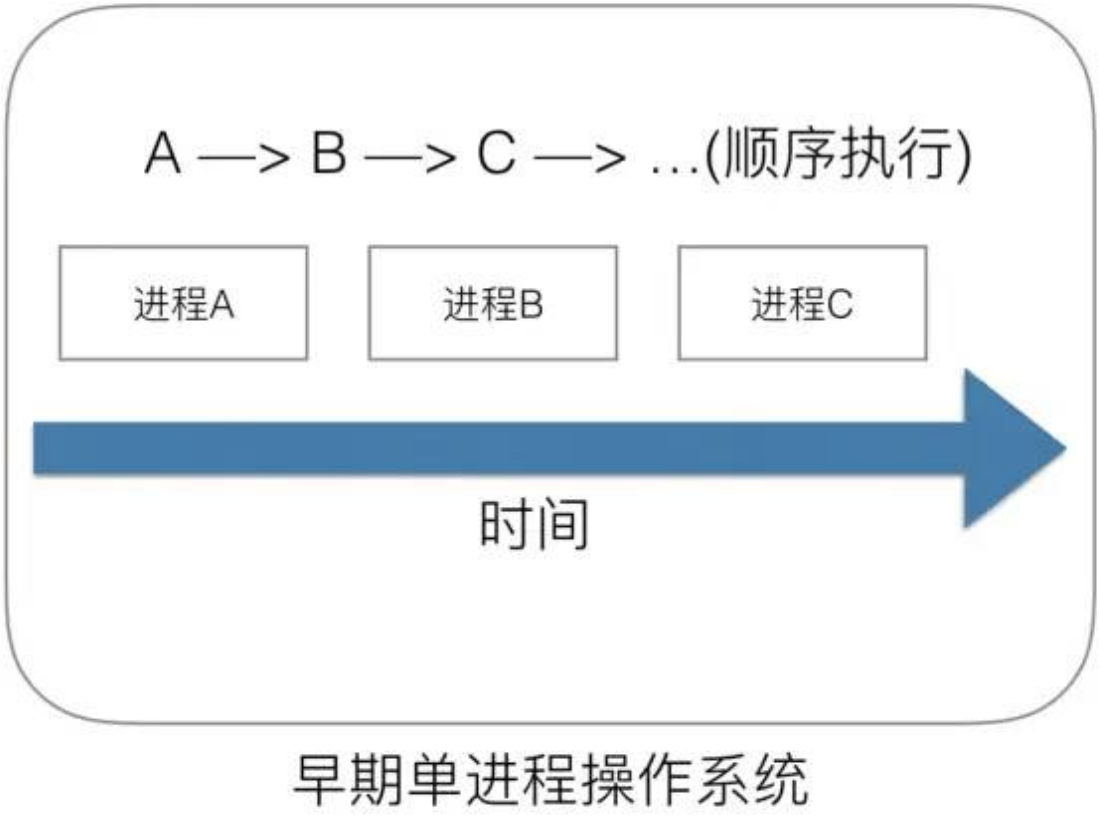
一、Glang“调度器”的由来

（1）单进程时代不需要调度器

我们知道，一切的软件都是跑在操作系统上，真正用来干活(计算)的是CPU。早期的操作系统每个程序就是一个进程，知道一个程序运行完，才能进行下一个进程，就是“单进程时代”我们知道，一切的

软件都是跑在操作系统上，真正用来干活(计算)的是CPU。早期的操作系统每个程序就是一个进程，知道一个程序运行完，才能进行下一个进程，就是“单进程时代”，

一切的程序只能串行发生。



早期单进程操作系统

早期的单进程操作系统，面临2个问题：

1

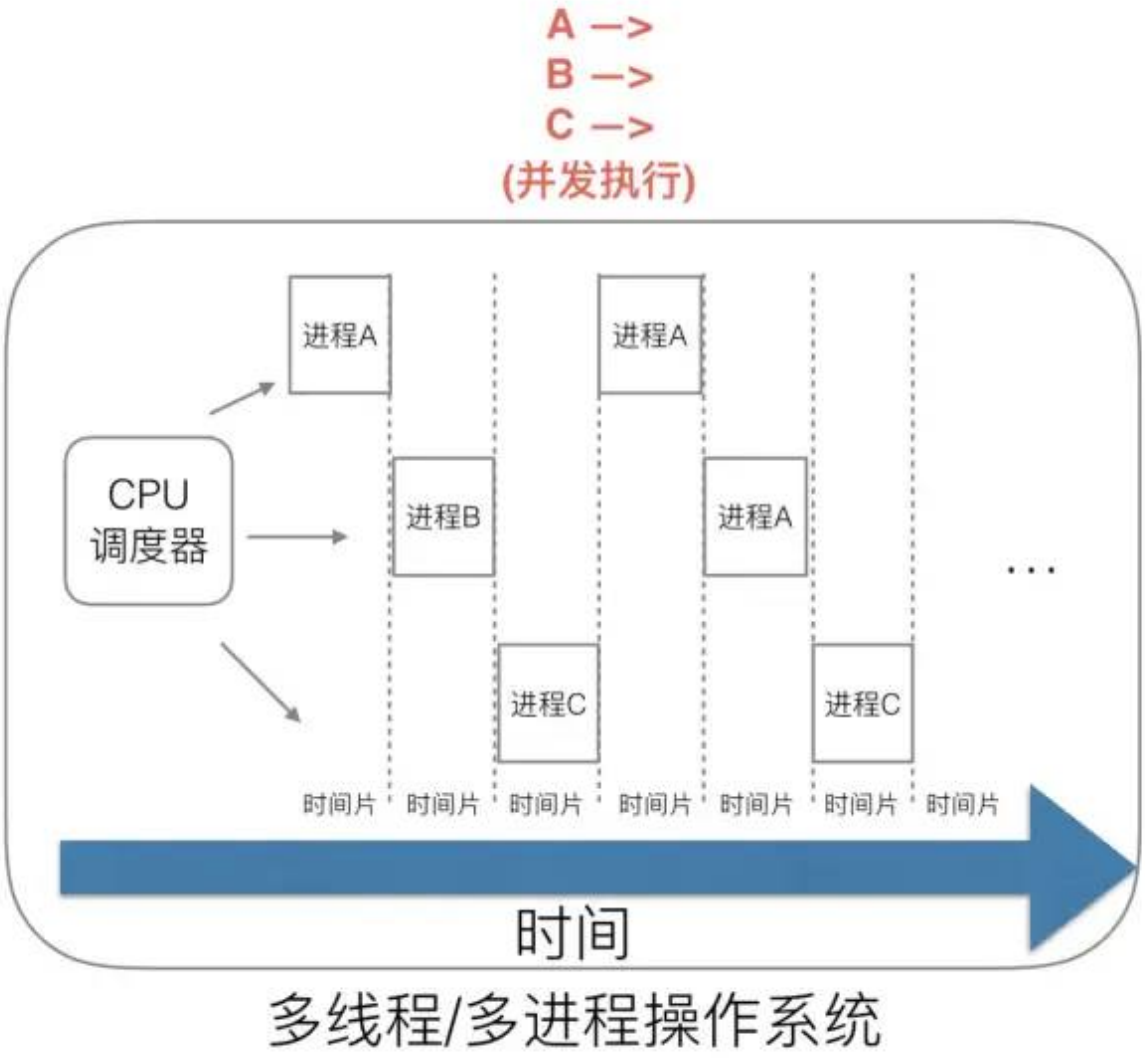
单一的执行流程，计算机只能一个任务一个任务处理。

2

进程阻塞所带来的CPU时间浪费。

后来操作系统就具有了最早的并发能力：多进程并发，当一个进程阻塞的时候，切换到另外等待执行的进程，这样就能尽量把CPU利用起来，CPU就不浪费了

（2）多进程/线程时代有了调度器需求

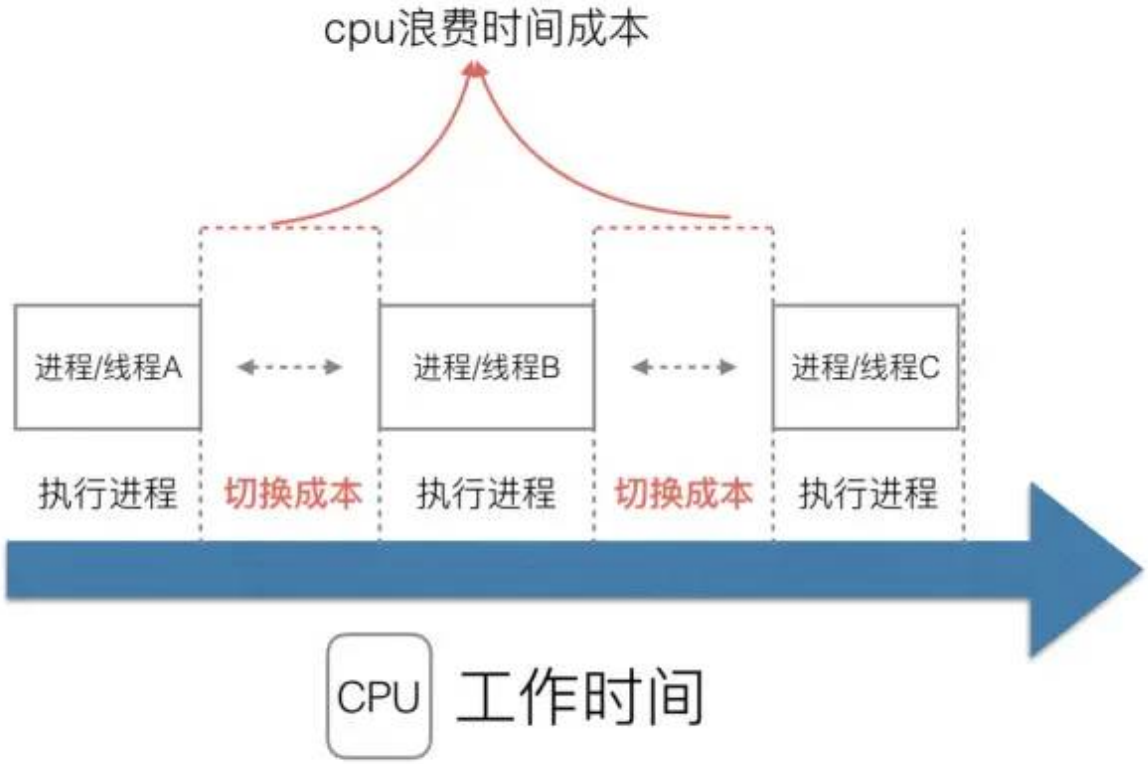


在多进程/多线程的操作系统中，就解决了阻塞的问题，因为一个进程阻塞cpu可以立刻切换到其他进程中去执行，而且调度cpu的算法可以保证在运行的进程都可以被分配到cpu的运行时间片。这样从宏观来看，似乎多个进程是在同时被运行。

但新的问题就又出现了，进程拥有太多的资源，进程的创建、切换、销毁，都会占用很长的时间，CPU虽然利用起来了，但如果进程过多，CPU有很大的一部分都被用来进行进程调度了。

怎么才能提高CPU的利用率呢？

对于Linux操作系统来讲，cpu对进程的态度和线程的态度是一样的。



很明显，CPU调度切换的是进程和线程。尽管线程看起来很美好，但实际上多线程开发设计会变得更加复杂，要考虑很多同步竞争等问题，如锁、竞争冲突等。

（3）协程提高CPU利用

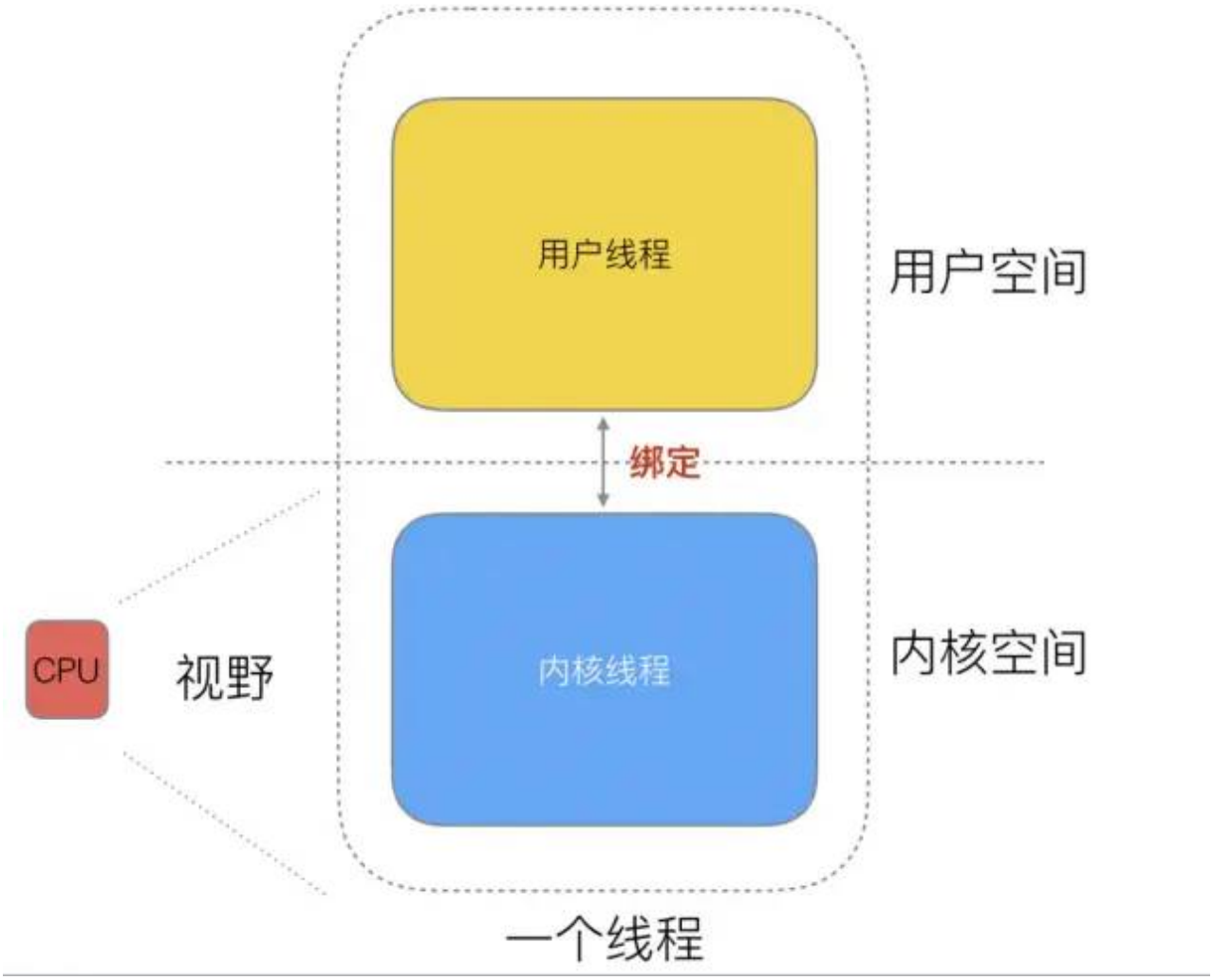
多进程、多线程已经提高了系统的并发能力，但是在当今互联网高并发场景下，为每个任务都创建一个线程是不现实的，因为会消耗大量的内存(进程虚拟内存会占用4GB[32位操作系统], 而线程也要大约4MB)。

大量的进程/线程出现了新的问题

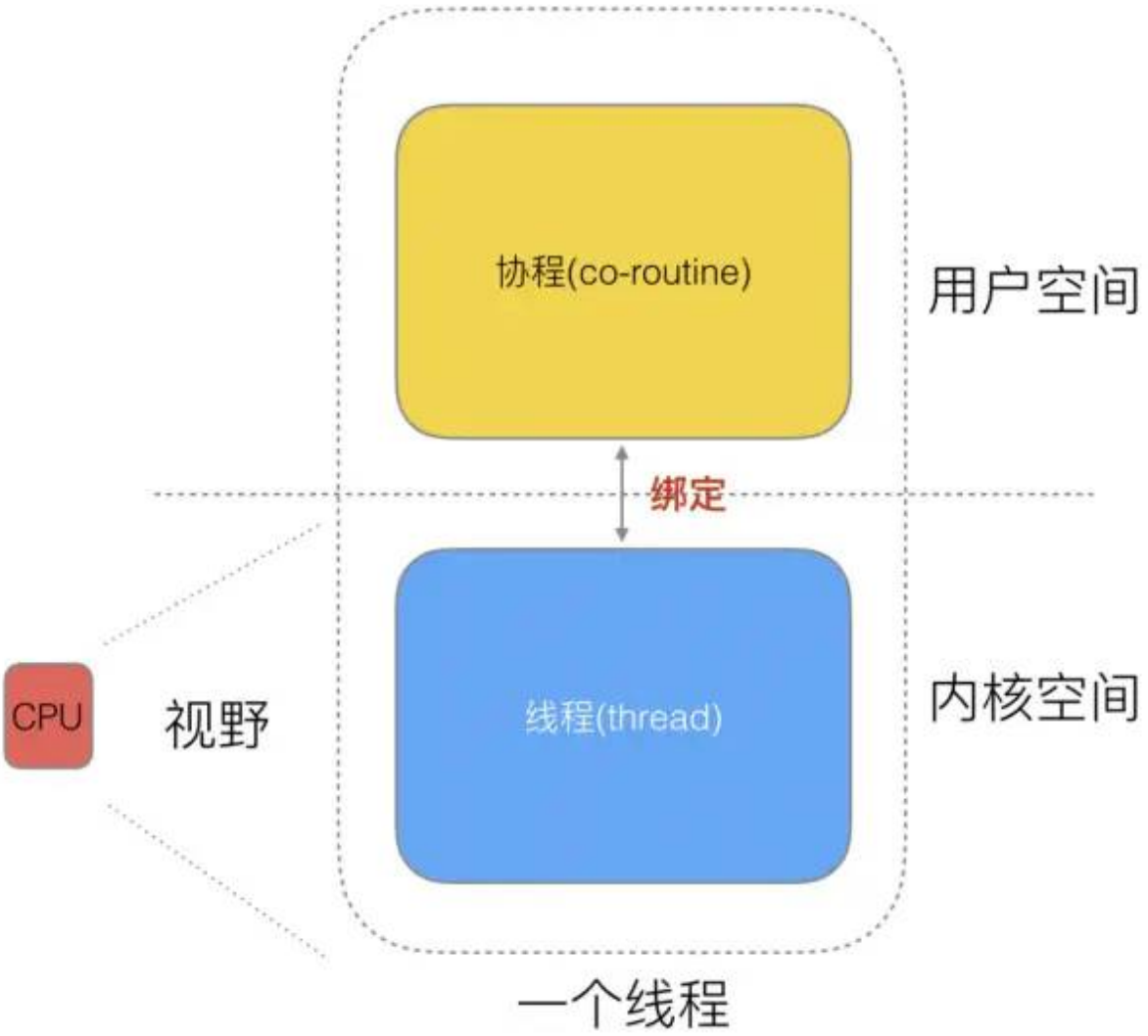
- 高内存占用
- 调度的高消耗CPU

好了，然后工程师们就发现，其实一个线程分为“内核态“线程和”用户态“线程。

一个“用户态线程”必须要绑定一个“内核态线程”，但是CPU并不知道有“用户态线程”的存在，它只知道它运行的是一个“内核态线程”(Linux的PCB进程控制块)。



这样，我们再去细化去分类一下，内核线程依然叫“线程(thread)”，用户线程叫“协程(co-routine)".



看到这里，我们就要开脑洞了，既然一个协程(co-routine)可以绑定一个线程(thread)，那么能不能多个协程(co-routine)绑定一个或者多个线程(thread)上呢。

之后，我们就看到了有3种协程和线程的映射关系：

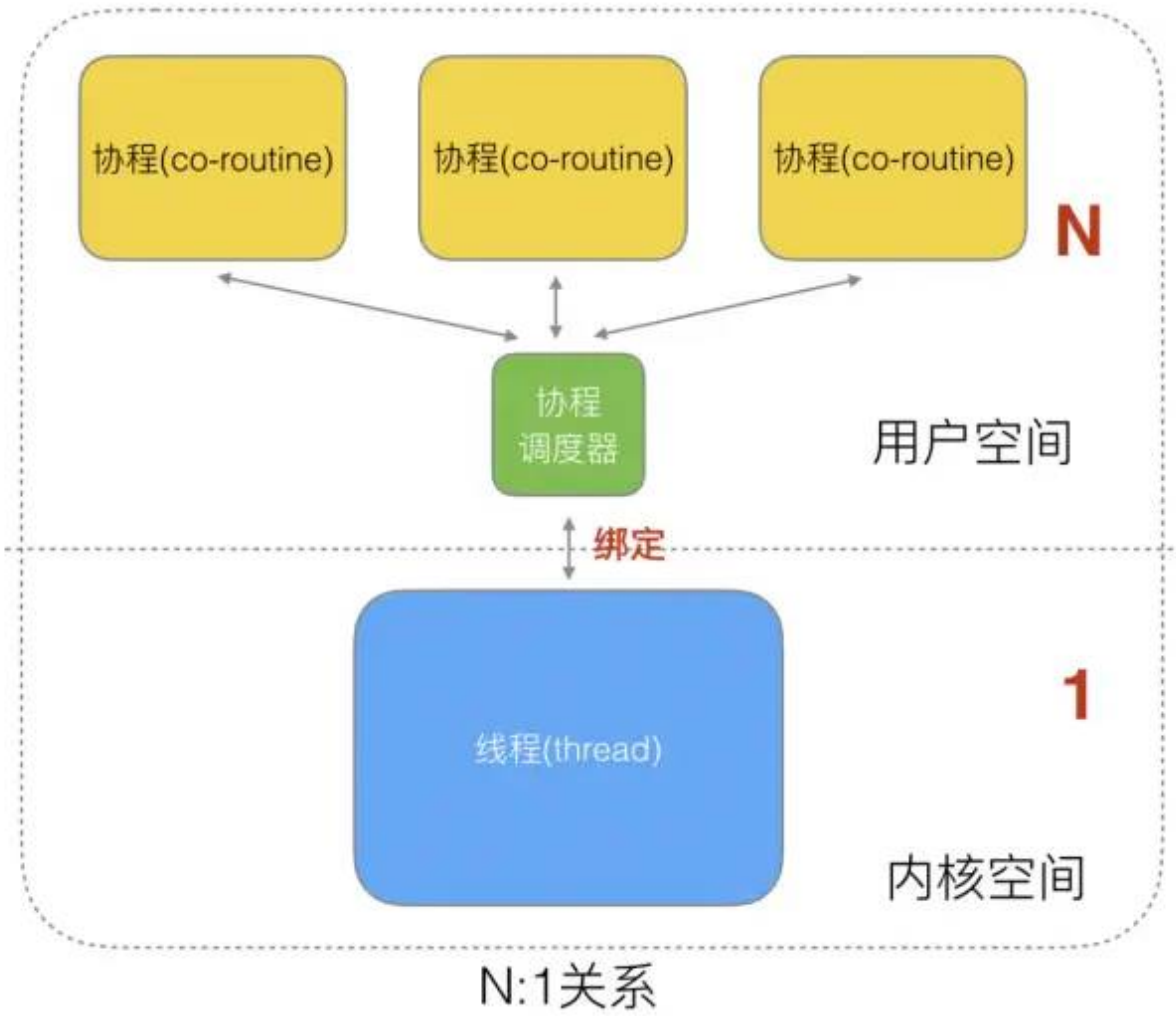
N:1关系

N个协程绑定1个线程，优点就是协程在用户态线程即完成切换，不会陷入到内核态，这种切换非常的轻量快速。但也有很大的缺点，1个进程的所有协程都绑定在1个线程上

缺点

某个程序用不了硬件的多核加速能力

一旦某协程阻塞，造成线程阻塞，本进程的其他协程都无法执行了，无并发能力



1:1 关系

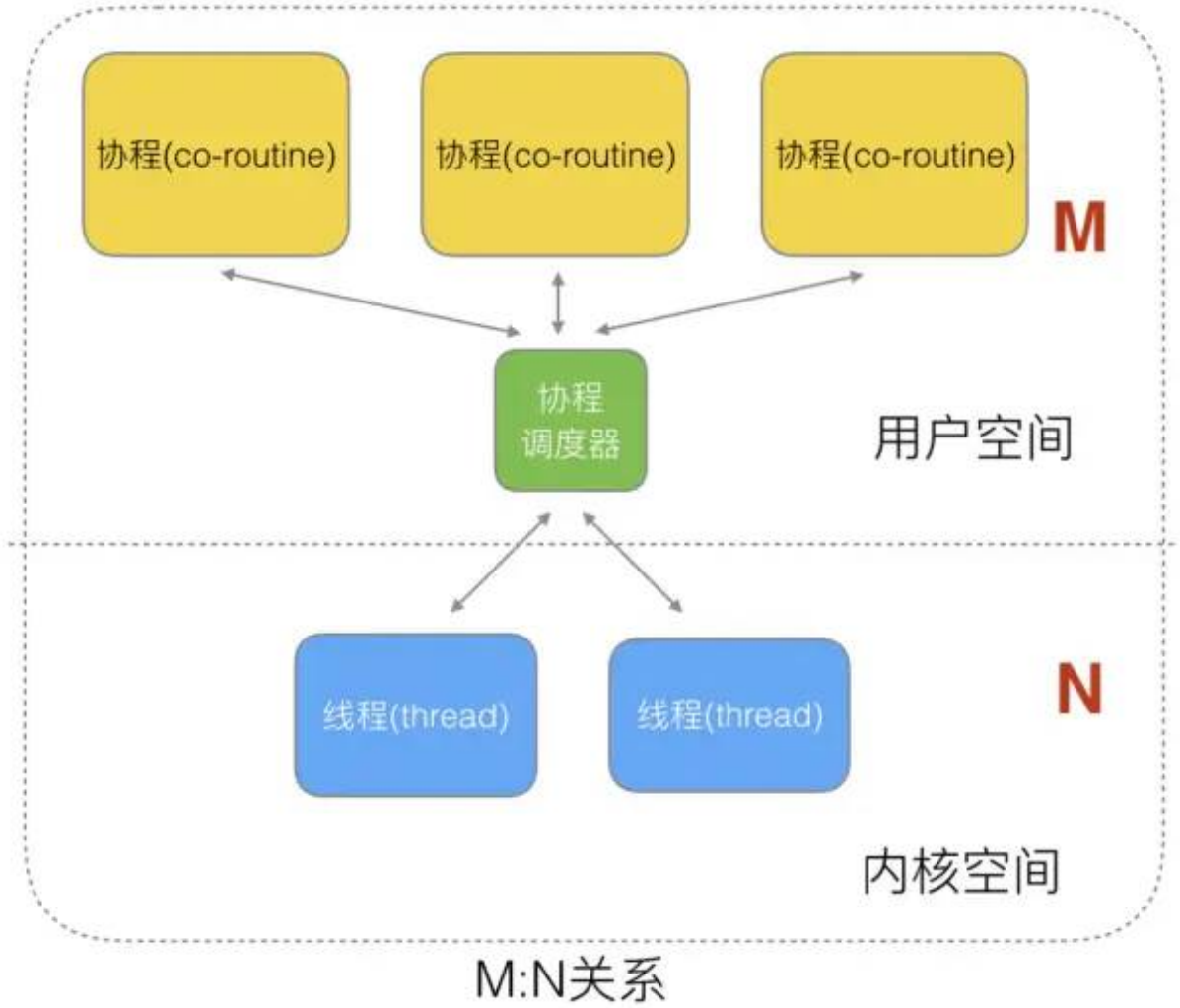
1个协程绑定1个线程，这种最容易实现。协程的调度都由CPU完成了，不存在N:1缺点。

缺点

协程的创建、删除和切换的代价都由CPU完成，有点略显昂贵了。

M:N关系

M个协程绑定1个线程，是N:1和1:1类型的结合，克服了以上2种模型的缺点，但实现起来最为复杂。



协程跟线程是有区别的，线程由CPU调度是抢占式的，协程由用户态调度是协作式的，一个协程让出CPU后，才执行下一个协程。

（4）Go语言的协程Goroutine

Go为了提供更容易使用的并发方法，使用了goroutine和channel。goroutine来自协程的概念，让一组可复用的函数运行在一组线程之上，即使有协程阻塞，该线程的其他协程也可以被 `runtime` 调度，转移到其他可运行的线程上。最关键的是，程序员看不到这些底层的细节，这就降低了编程的难度，提供了更容易的并发。

Go中，协程被称为goroutine，它非常轻量，一个goroutine只占几KB，并且这几KB就足够goroutine运行完，这就能在有限的内存空间内支持大量goroutine，支持了更多的并发。虽然一个goroutine的栈只占几KB，但实际是可伸缩的，如果需要更多内容，`runtime` 会自动为goroutine分配。

Goroutine特点

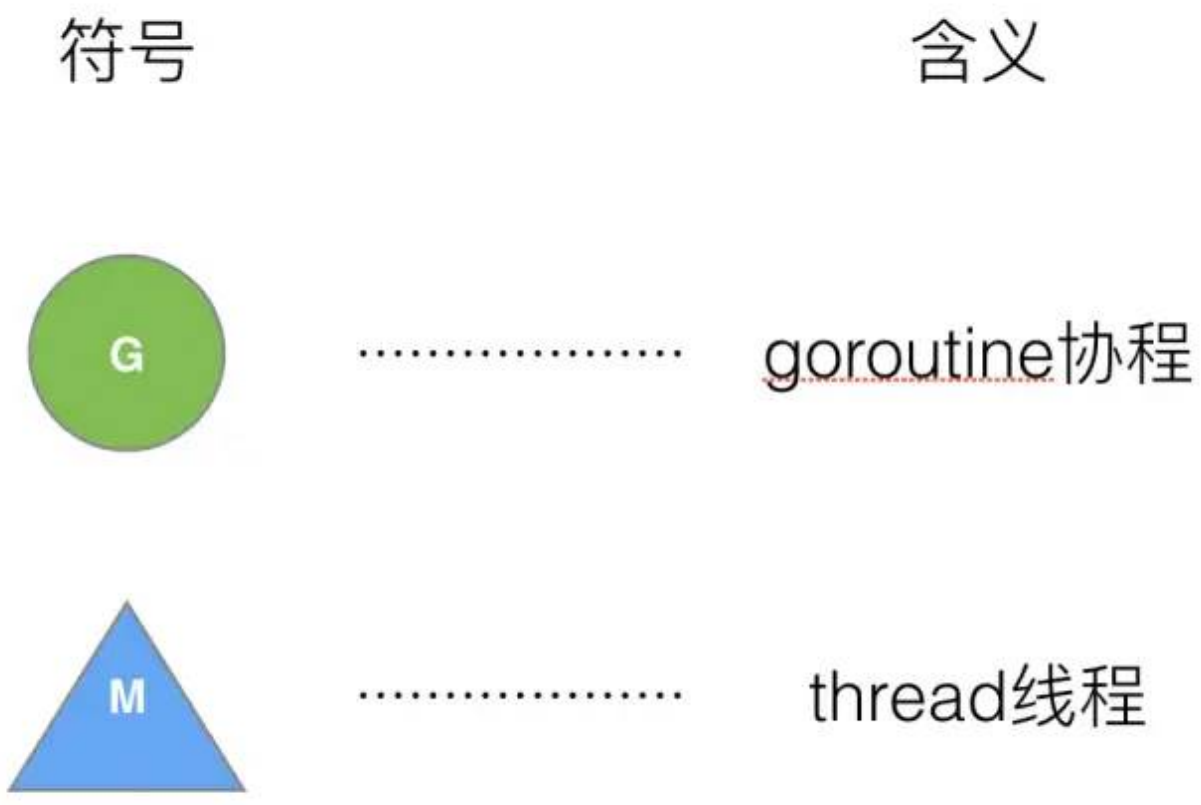
占用内存更小(几Kb)

调度更灵活(runtime调度)

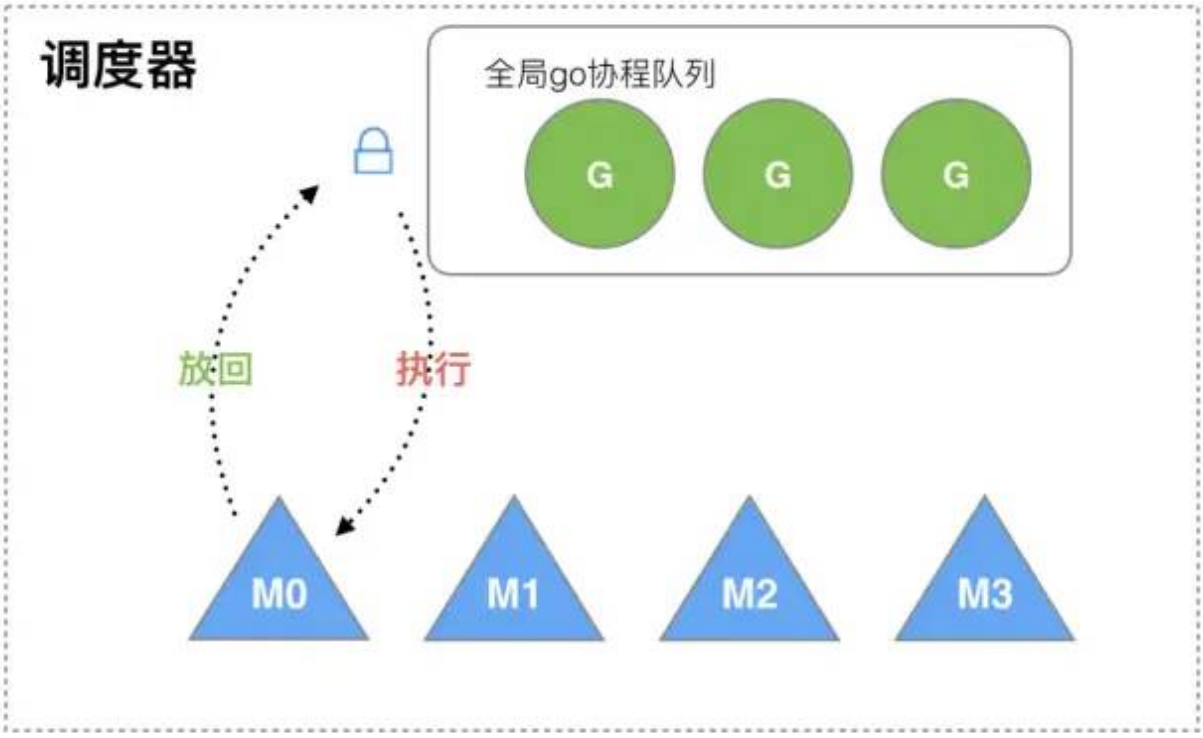
（5）被遗弃的goroutine调度器

好了，既然我们知道了协程和线程的关系，那么最关键的一点就是调度协程的调度器的实现了。

Go目前使用的调度器是2012年重新设计的，因为之前的调度器性能存在问题，所以使用4年就被废弃了，那么我们先来分析一下被废弃的调度器是如何运作的？



下面我们来看看被废弃的golang调度器是如何实现的？



M想要执行、放回G都必须访问全局G队列，并且M有多个，即多线程访问同一资源需要加锁进行保证互斥/同步，所以全局G队列是有互斥锁进行保护的。

老调度器的缺点

1、创建、销毁、调度G都需要每个M获取锁，这就形成了激烈的锁竞争。

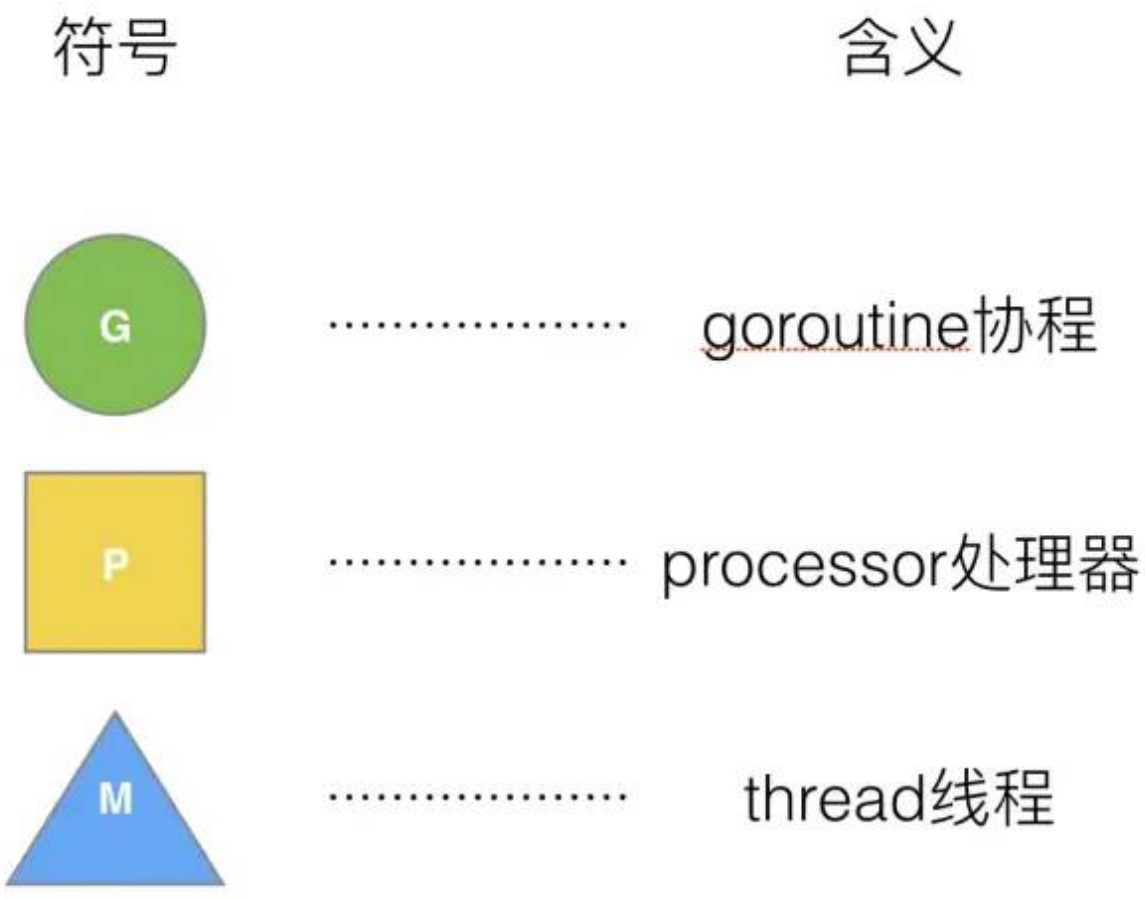
2、M转移G会造成延迟和额外的系统负载。比如当G中包含创建新协程的时候，M创建了G’，为了继续执行G，需要把G’交给M’执行，也造成了很差的局部性，因为G’和G是相关的，最好放在M上执行，而不是其他M'。

3、系统调用(CPU在M之间的切换)导致频繁的线程阻塞和取消阻塞操作增加了系统开销。

二、Goroutine调度器的GMP模型设计思想

面对之前调度器的问题，Go设计了新的调度器。

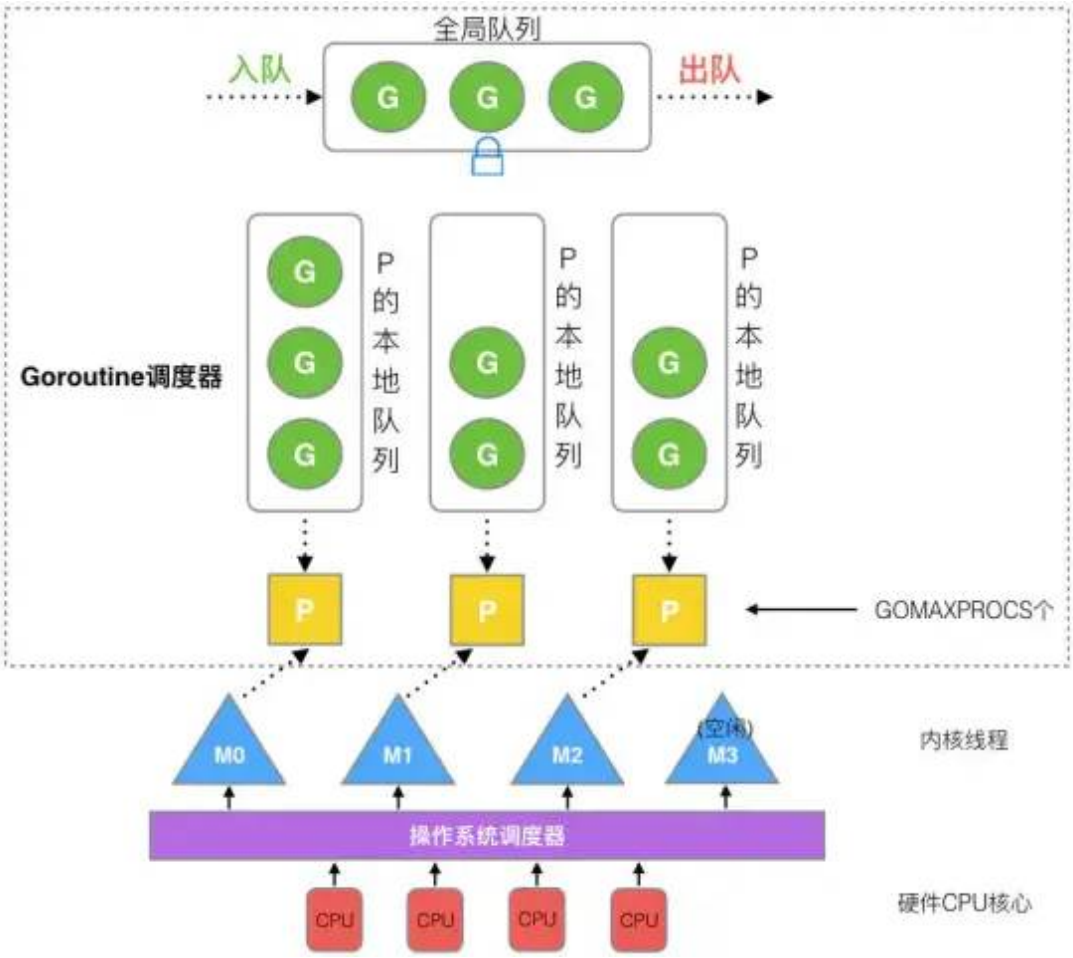
在新调度器中，除了M(thread)和G(goroutine)，又引进了P(Processor)。



Processor，它包含了运行goroutine的资源，如果线程想运行goroutine，必须先获取P，P中还包含了可运行的G队列。

（1）GMP模型

在Go中，线程是运行goroutine的实体，调度器的功能是把可运行的goroutine分配到工作线程上。



1. 全局队列（Global Queue）：存放等待运行的G。
2. P的本地队列：同全局队列类似，存放的也是等待运行的G，存的数量

   有限，不超过256个。新建G'时，G'优先加入到P的本地队列，如果队

   列满了，则会把本地队列中一半的G移动到全局队列。
3. P列表：所有的P都在程序启动时创建，并保存在数组中，最多有

   `GOMAXPROCS`(可配置)个。

4. M：线程想运行任务就得获取P，从P的本地队列获取G，P队列为空时，M也会尝试从全局队列拿一批G放到P的本地队列，或从其他P的本地队

   列偷一半放到自己P的本地队列。M运行G，G执行之后，M会从P获取

   下一个G，不断重复下去。

Goroutine调度器和OS调度器是通过M结合起来的，每个M都代表了1个内核线程，OS调度器负责把内核线程分配到CPU的核上执行。

有关P和M的个数问题

1、P的数量

由启动时环境变量 `$GOMAXPROCS` 或者是由 `runtime` 的方法 `GOMAXPROCS()` 决定。这意味着在程序执行的任意时刻都只有 `$GOMAXPROCS` 个goroutine在同时运行。

2、M的数量

(1) go语言本身的限制：go程序启动时，会设置M的最大数量，默认10000.但是内核很难支持这么多的线程数，所以这个限制可以忽略。

(2)runtime/debug中的SetMaxThreads函数，设置M的最大数量

(3)一个M阻塞了，会创建新的M。

M与P的数量没有绝对关系，一个M阻塞，P就会去创建或者切换另一个M，所以，即使P的默认数量是1，也有可能会创建很多个M出来。

P和M何时会被创建

1、P何时创建？

在确定了P的最大数量n后，运行时系统会根据这个数量创建n个P。

2、M何时创建？

没有足够的M来关联P并运行其中的可运行的G。比如所有的M此时都阻塞住了，而P中还有很多就绪任务，就会去寻找空闲的M，而没有空闲的，就会去创建新的M。

（2）调度器的设计策略

复用线程

避免频繁的创建、销毁线程，而是对线程的复用。

1）work stealing机制

当本线程无可运行的G时，尝试从其他线程绑定的P偷取G，而不是销毁线程。

2）hand off机制

当本线程因为G进行系统调用阻塞时，线程释放绑定的P，把P转移给其他空闲的线程执行。

并行利用

`GOMAXPROCS` 设置P的数量，最多有 `GOMAXPROCS` 个线程分布在多个CPU上同时运行。`GOMAXPROCS` 也限制了并发的程度，比如 `GOMAXPROCS = 核数/2` ，则最多利用了一半的CPU核进行并行。

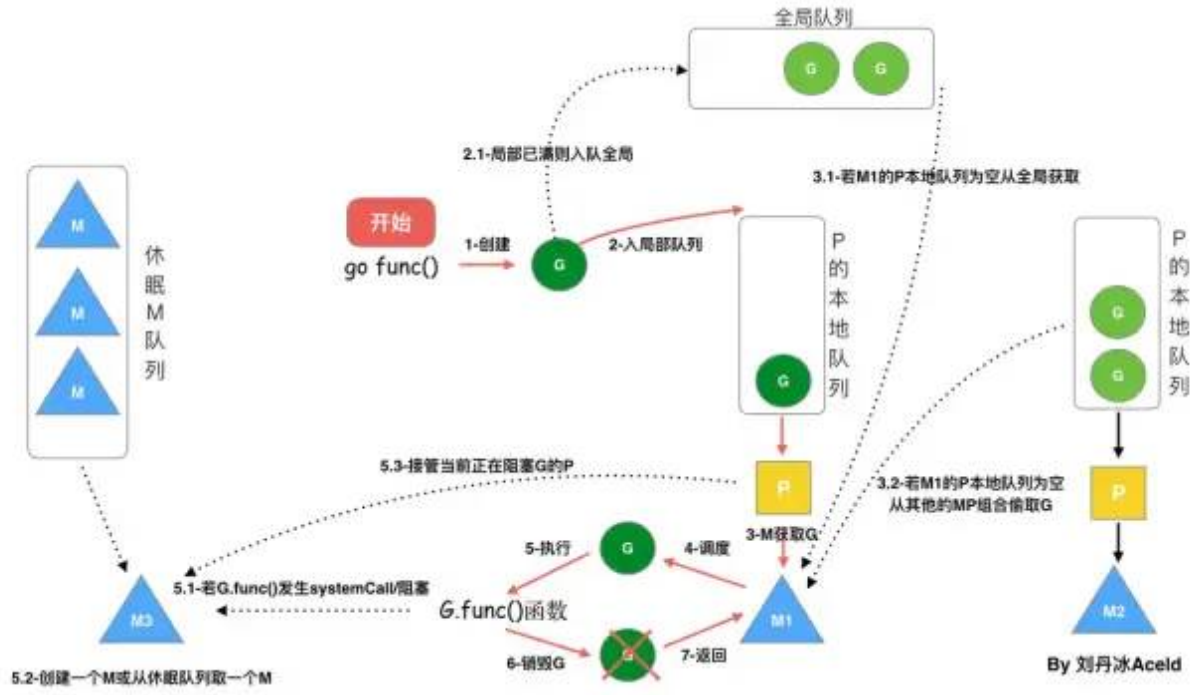
抢占

在coroutine中要等待一个协程主动让出CPU才执行下一个协程，在Go中，一个goroutine最多占用CPU 10ms，防止其他goroutine被饿死，这就是goroutine不同于coroutine的一个地方。

全局G队列

在新的调度器中依然有全局G队列，但功能已经被弱化了，当M执行work stealing从其他P偷不到G时，它可以从全局G队列获取G。

（3）"go func()"调度过程



1、我们通过 go func()来创建一个goroutine

2、有两个存储G的队列，一个是局部调度器P的本地队列、一个是全局G队列。新创建的G会先保存在P的本地队列中，如果P的本地队列已经满了就会保存在全局的队列中

3、G只能运行在M中，一个M必须持有一个P，M与P是1：1的关系。M会从P的本地队列弹出一个可执行状态的G来执行，如果P的本地队列为空，就会向其他的MP组合偷取

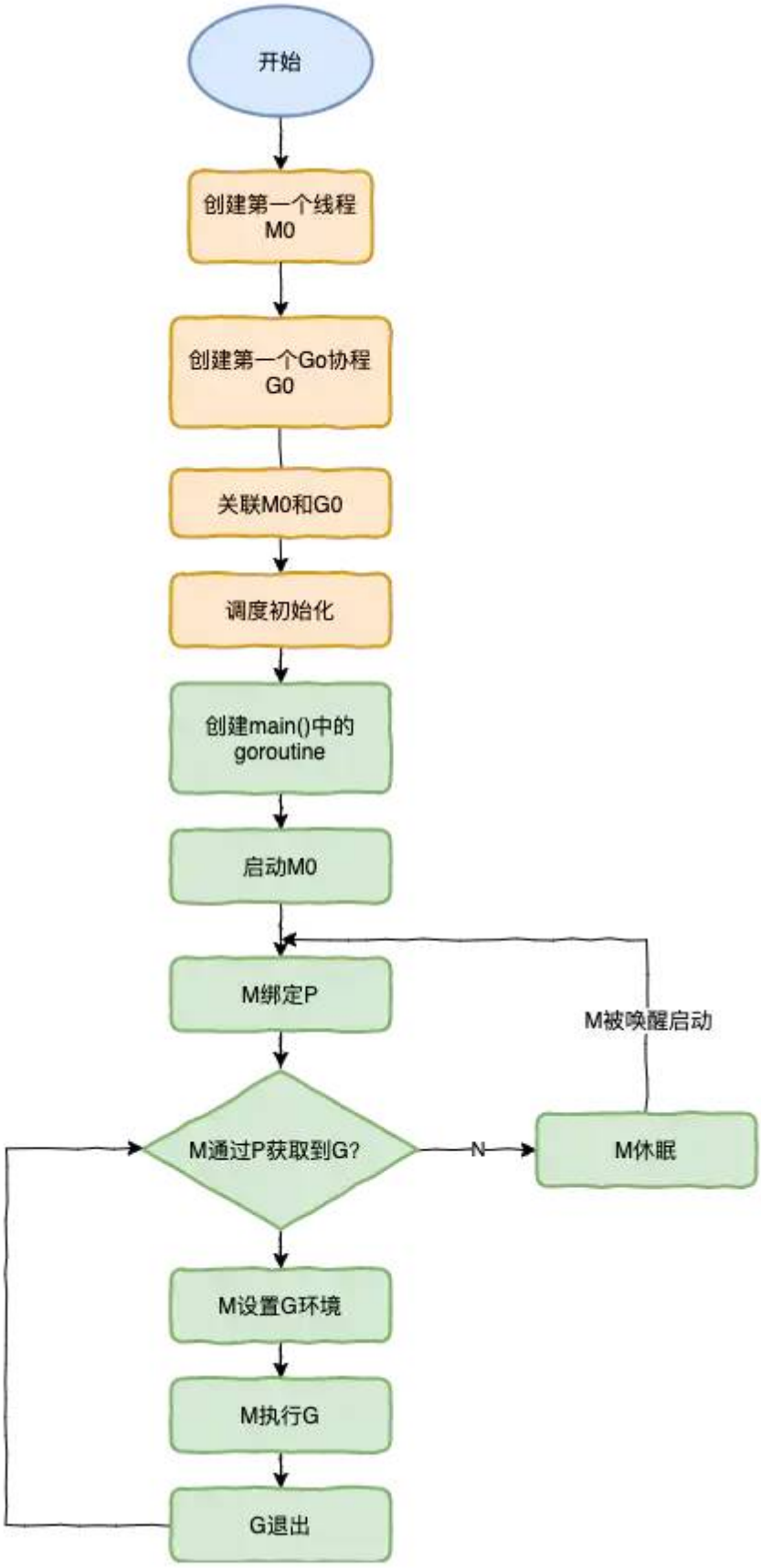
一个可执行的G来执行

4、一个M调度G执行的过程是一个循环机制

5、当M执行某一个G时候如果发生了syscall或则其余阻塞操作，M会阻塞，如果当前有一些G在执行，runtime会把这个线程M从P中摘除(detach)，然后再创建一个新的操作系统的线程(如果有空闲的线程可用就复用空闲线程)来服务于这个P

6、当M系统调用结束时候，这个G会尝试获取一个空闲的P执行，并放入到这个P的本地队列。如果获取不到P，那么这个线程M变成休眠状态， 加入到空闲线程中，然后这个G会被放入全局队列中

（4）"go func()"调度过程


开始
创建第一个线程M0
创建第一个Go协程G0
关联M0和G0
调度初始化
创建main()中的goroutine
启动M0
M绑定P
M通过P获取到G?
N
M休眠
M被唤醒启动
M设置G环境
M执行G
G退出

特殊的Mo和Go

Mo

`M0`是启动程序后的编号为0的主线程，这个M对应的实例会在全局变量runtime.mo中，不需要在heap上分配，Mo负责执行初始化操作和启动第一个G， 在之后Mo就和其他的M一样了。

Go

`G0`是每次启动一个M都会第一个创建的gourtine，Go仅用于负责调度的G，Go不指向任何可执行的函数, 每个M都会有一个自己的Go。在调度或系统调用时会使用Go的栈空间, 全局变量的Go是Mo的Go。

我们来跟踪一段代码

```
package main

import"fmt"

 func main() {
    fmt.Println("Hello world")
}
```

接下来我们来针对上面的代码对调度器里面的结构做一个分析。

也会经历如上图所示的过程：

1.runtime创建最初的线程m0和goroutine g0，并把2者关联。

2.调度器初始化：初始化m0、栈、垃圾回收，以及创建和初始化由GOMAXPROCS个P构成的P列表。

3.示例代码中的main函数是`main.main`，`runtime`中也有1个main函数——`runtime.main`，代码经过编译后，`runtime.main`会调用`main.main`，程序启动时会为`runtime.main`创建goroutine，称它为main goroutine吧，然后把main goroutine加入到P的本地队列。

4.启动m0，m0已经绑定了P，会从P的本地队列获取G，获取到main goroutine。

5.G拥有栈，M根据G中的栈信息和调度信息设置运行环境

6.M运行G

7.G退出，再次回到M获取可运行的G，这样重复下去，直到`main.main`退出，`runtime.main`执行Defer和Panic处理，或调用`runtime.exit`退出程序。

调度器的生命周期几乎占满了一个Go程序的一生，`runtime.main`的goroutine执行之前都是为调度器做准备工作，`runtime.main`的goroutine运行，才是调度器的真正开始，直到`runtime.main`结束而结束。

（5）可视化GMP编程

有2种方式可以查看一个程序的GMP的数据。

方法1:go tool trace

trace记录了运行时的信息，能提供可视化的Web页面。

简单测试代码：main函数创建trace，trace会运行在单独的goroutine中，然后main打印"Hello World"退出。

> trace.go

```
package main
import (    "os"    "fmt"    "runtime/trace")
func main() {
    //创建trace文件    f, err := os.Create("trace.out")    if err != nil {
panic(err)    }
    defer f.Close()
    //启动trace goroutine    err = trace.Start(f)    if err != nil {
panic(err)    }    defer trace.Stop()
    //main    fmt.Println("Hello World")}
```

运行程序

```
$ go run trace.goHello World
```

会得到一个`trace.out`文件，然后我们可以用一个工具打开，来分析这个文件。

```
$ go tool trace trace.out2020/02/23 10:44:11 Parsing trace...2020/02/23 10:44:11
Splitting trace...2020/02/23 10:44:11 Opening browser. Trace viewer is listening
on http://127.0.0.1:33479
```

我们可以通过浏览器打开 `http://127.0.0.1:33479` 网址，点击 `view trace` 能够看见可视化的调度流程。

G信息

点击Goroutines那一行可视化的数据条，我们会看到一些详细的信息。

3 items selected. Counter Samples (3)

Counter	Series	Time	Value
Goroutines	GCWaiting	0.042808	0
Goroutines	Runnable	0.042808	1
Goroutines	Running	0.042808	1

G0

G1

一共有两个G在程序中，一个是特殊的G0，是每个M必须有的一个初始化的G，这个我们不必讨论。

其中G1应该就是main goroutine(执行main函数的协程)，在一段时间内处于可运行和运行的状态。

M信息

点击Threads那一行可视化的数据条，我们会看到一些详细的信息。

2 items selected. Counter Samples (2)

Counter	Series	Time	Value
Threads	InSyscall	0.010201	0
Threads	Running	0.010201	1

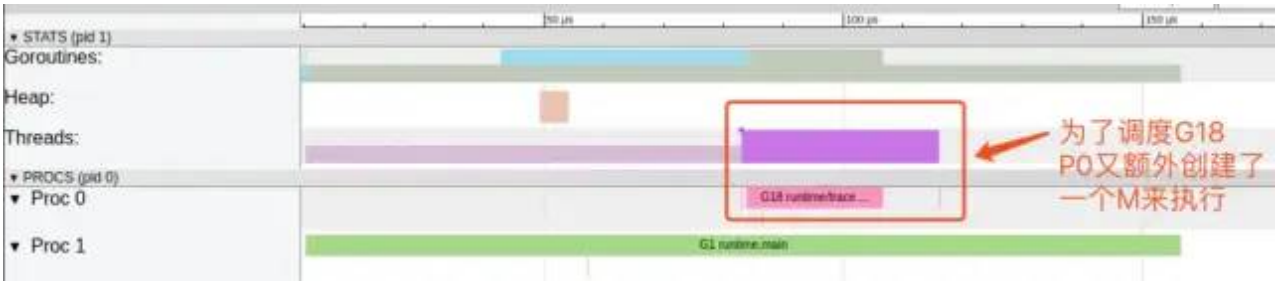
一共有两个M在程序中，一个是特殊的M0，用于初始化使用，这个我们不必讨论。

P信息

G1中调用了 `main.main` ，创建了 `trace goroutine g18` 。G1运行在P1上，G18运行在P0上。

这里有两个P，我们知道，一个P必须绑定一个M才能调度G。

我们再来看看上面的M信息。



我们会发现，确实G18在P0上被运行的时候，确实在Threads行多了一个M的数据，点击查看如下：

2 items selected. Counter Samples (2)

Counter	Series	Time	Value
Threads	InSyscall	0.083032	0
Threads	Running	0.083032	2

多了一个M2应该就是P0为了执行G18而动态创建的M2.

方法2: Debug trace

```
package main
import (    "fmt"    "time")
func main() {    for i := 0; i < 5; i++ {        time.Sleep(time.Second)
fmt.Println("Hello World")    }}
```

编译

```
$ go build trace2.go
```

通过Debug方式运行

```
$ GODEBUG=schedtrace=1000 ./trace2SCHED 0ms: gomaxprocs=2 idleprocs=0
threads=4 spinningthreads=1 idlethreads=1 runqueue=0 [0 0]Hello
WorldSCHED 1003ms: gomaxprocs=2 idleprocs=2 threads=4 spinningthreads=0
idlethreads=2 runqueue=0 [0 0]Hello WorldSCHED 2014ms: gomaxprocs=2
idleprocs=2 threads=4 spinningthreads=0 idlethreads=2 runqueue=0 [0
0]Hello WorldSCHED 3015ms: gomaxprocs=2 idleprocs=2 threads=4
spinningthreads=0 idlethreads=2 runqueue=0 [0 0]Hello WorldSCHED 4023ms:
gomaxprocs=2 idleprocs=2 threads=4 spinningthreads=0 idlethreads=2
runqueue=0 [0 0]Hello World
```

`SCHED`：调试信息输出标志字符串，代表本行是goroutine调度器的输出；

`0ms`：即从程序启动到输出这行日志的时间；

`gomaxprocs`：P的数量，本例有2个P, 因为默认的P的属性是和cpu核心数量默认一致，当然也可以通过GOMAXPROCS来设置；

`idleprocs`：处于idle状态的P的数量；通过gomaxprocs和idleprocs的差值，我们就可知道执行go代码的P的数量；

`threads:` os threads/M的数量，包含scheduler使用的m数量，加上runtime自用的类似sysmon这样的thread的数量；

`spinningthreads`：处于自旋状态的os thread数量；

`idlethread`：处于idle状态的os thread的数量；

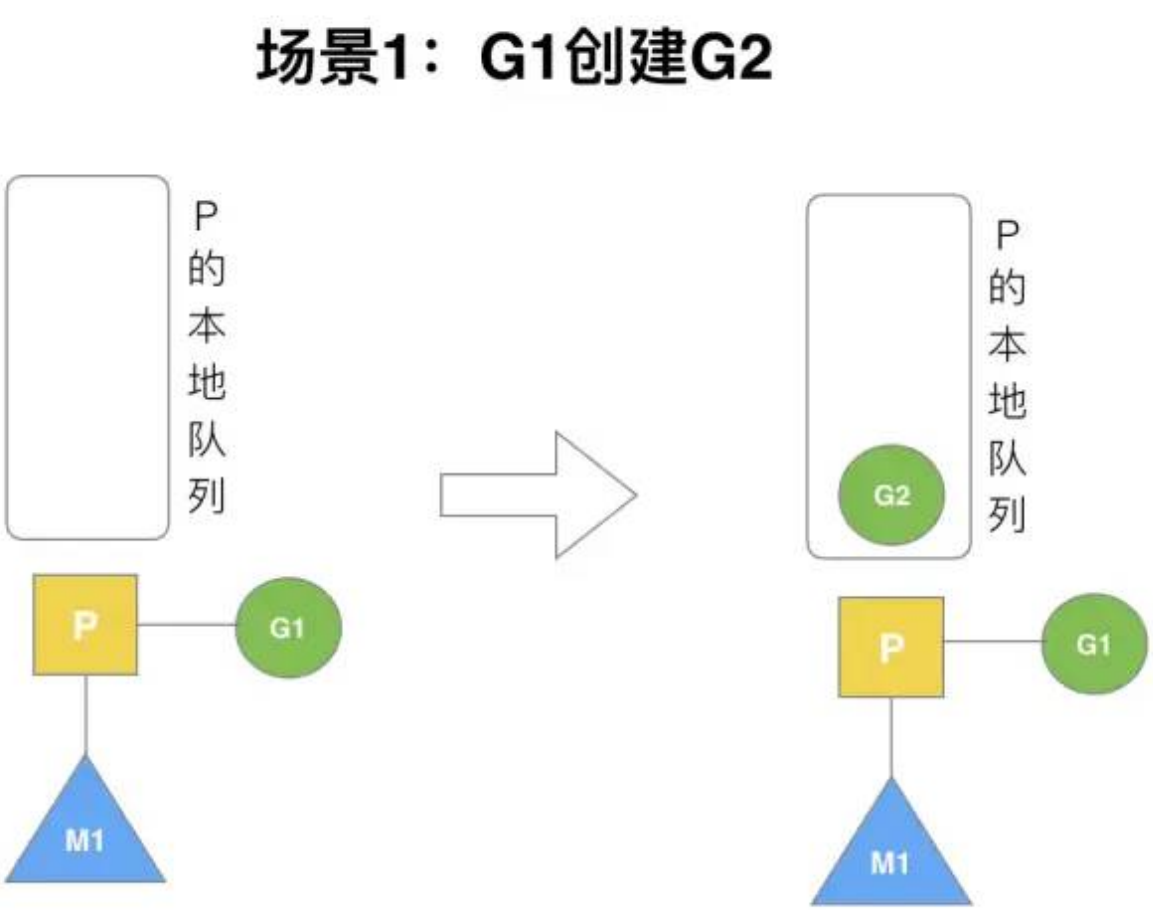
`runqueue=0`：Scheduler全局队列中G的数量；

`[0 0]`：分别为2个P的local queue中的G的数量。

三、Go调度器执行过程全解析

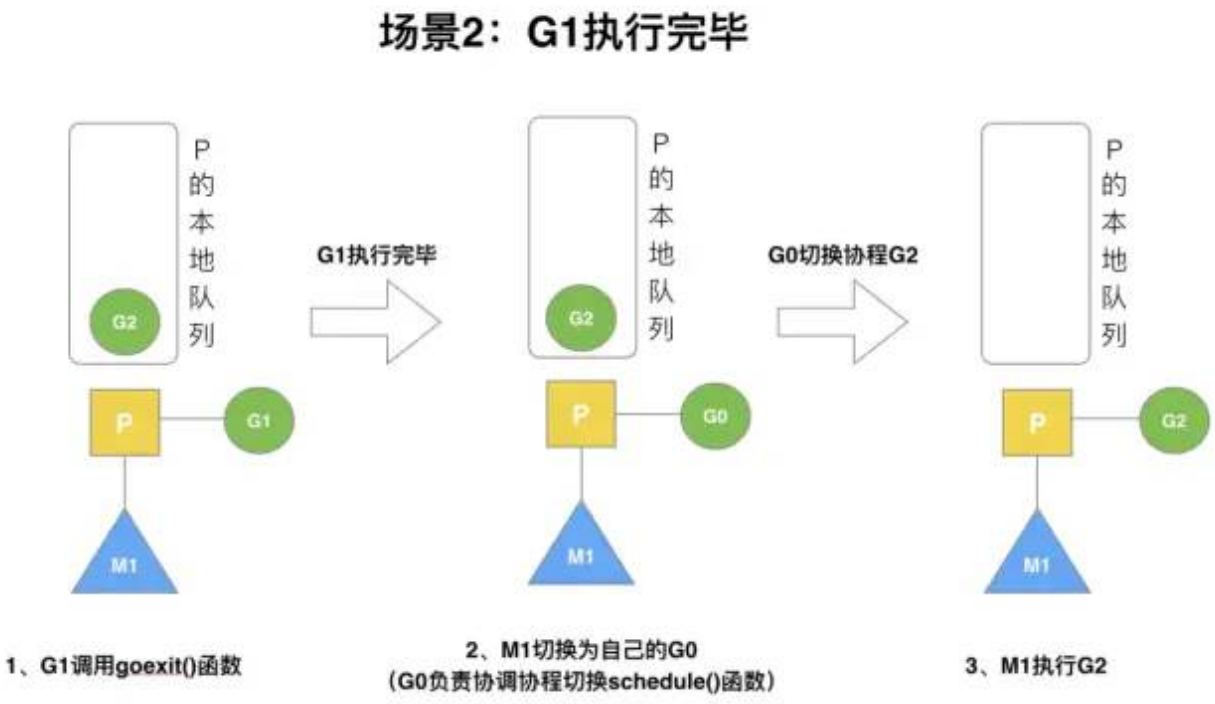
场景1

P拥有G1，M1获取P后开始运行G1，G1使用 `go func()` 创建了G2，为了局部性G2优先加入到P1的本地队列。



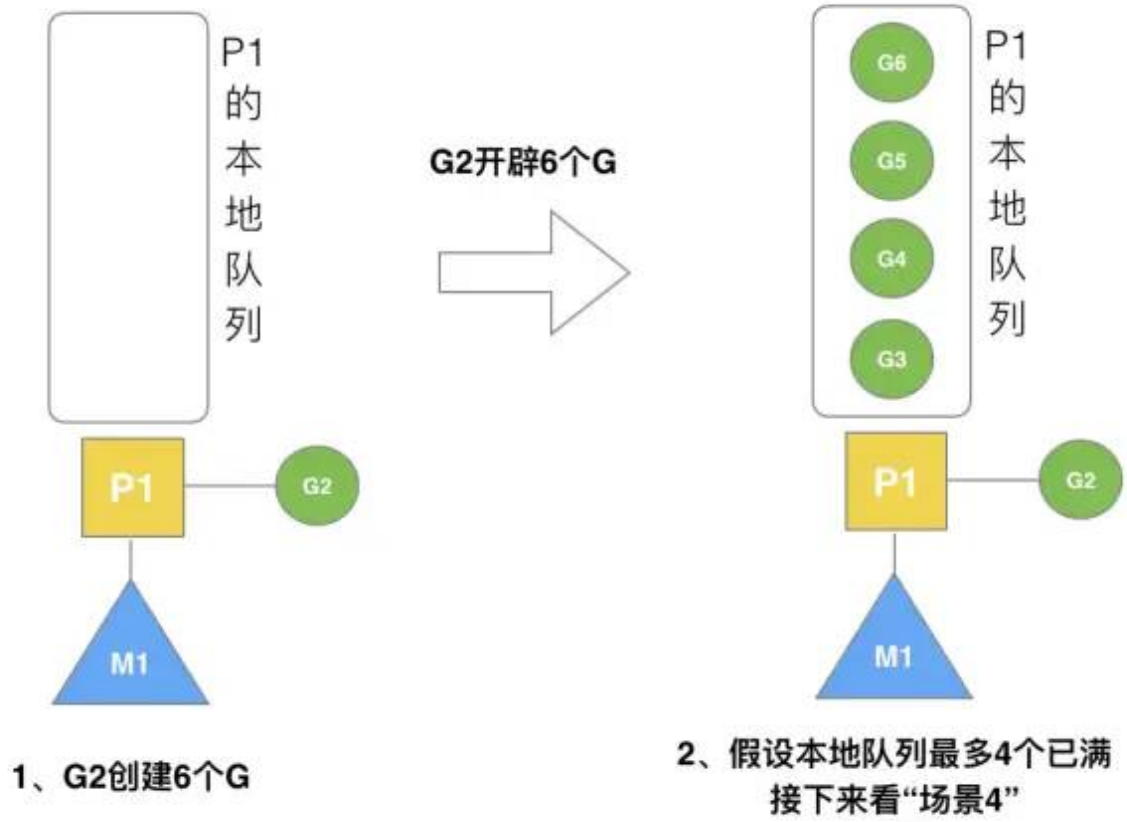
场景2

G1运行完成后(函数：`goexit`)，M上运行的goroutine切换为G0，G0负责调度时协程的切换（函数：`schedule`）。从P的本地队列取G2，从G0切换到G2，并开始运行G2(函数：`execute`)。实现了线程M1的复用。



场景3

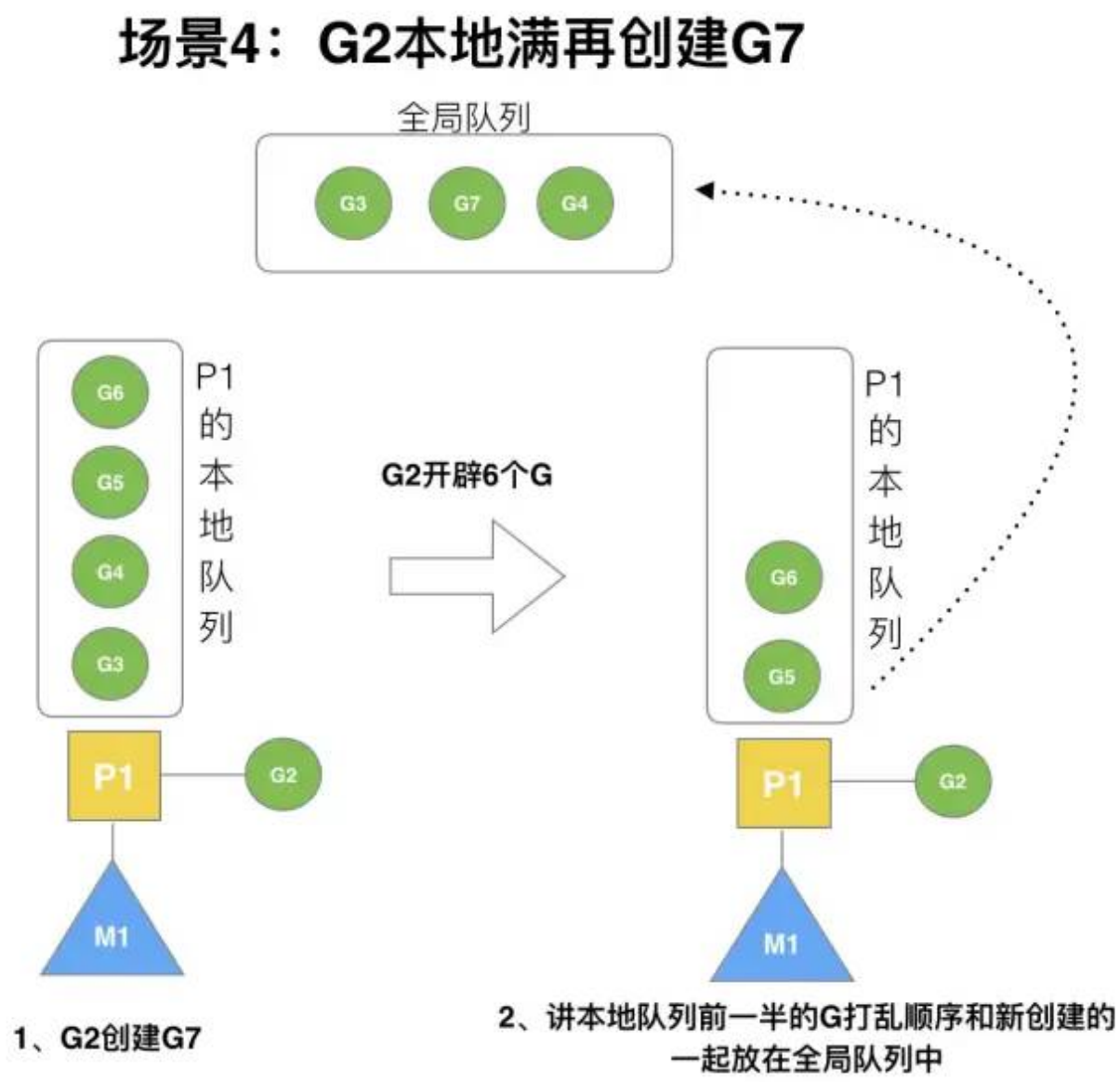
假设每个P的本地队列只能存3个G。G2要创建了6个G，前3个G（G3, G4, G5）已经加入p1的本地队列，p1本地队列满了。



场景4

G2在创建G7的时候，发现P1的本地队列已满，需要执行负载均衡(把P1中本地队列中前一半的G，还有新创建G转移到全局队列)

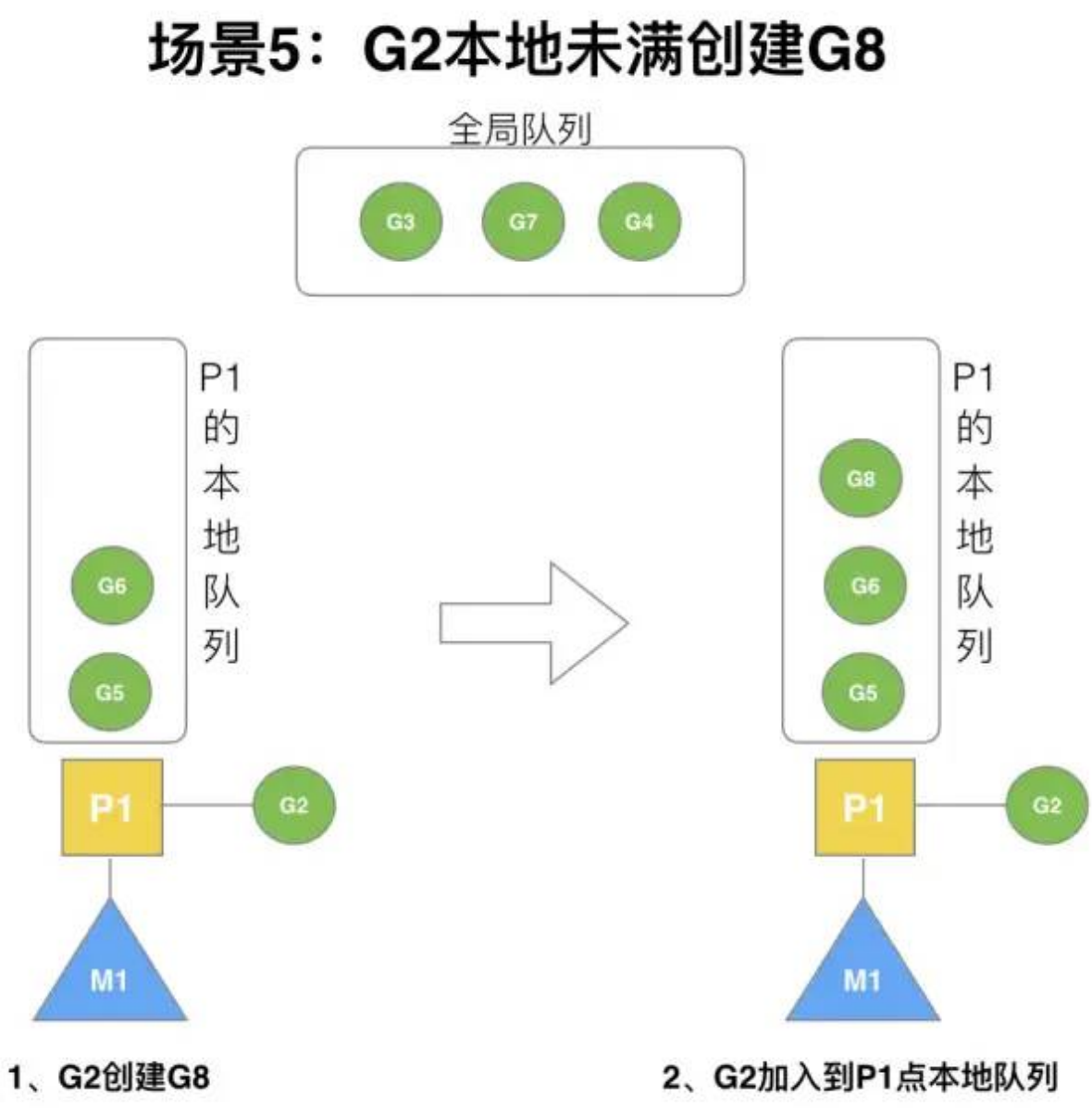
> （实现中并不一定是新的G，如果G是G2之后就执行的，会被保存在本地队列，利用某个老的G替换新G加入全局队列）



这些G被转移到全局队列时，会被打乱顺序。所以G3,G4,G7被转移到全局队列。

场景5

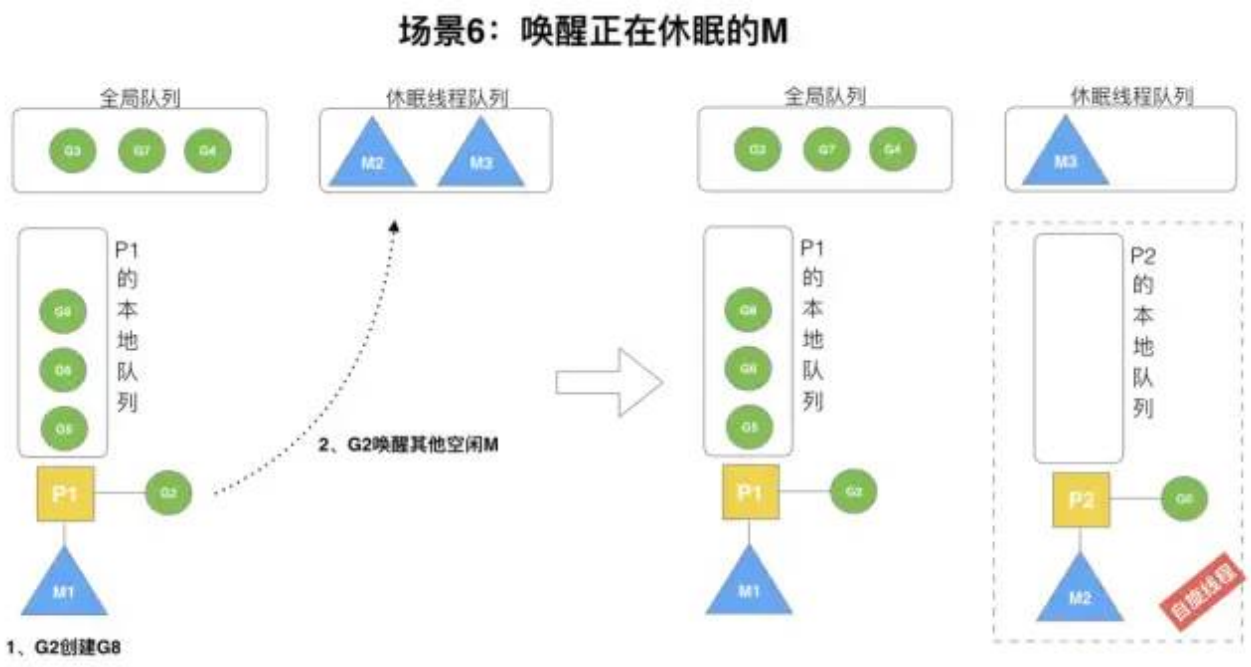
G2创建G8时，P1的本地队列未满，所以G8会被加入到P1的本地队列。



G8加入到P1点本地队列的原因还是因为P1此时在与M1绑定，而G2此时是M1在执行。所以G2创建的新的G会优先放置到自己的M绑定的P上。

场景6

规定：在创建G时，运行的G会尝试唤醒其他空闲的P和M组合去执行。



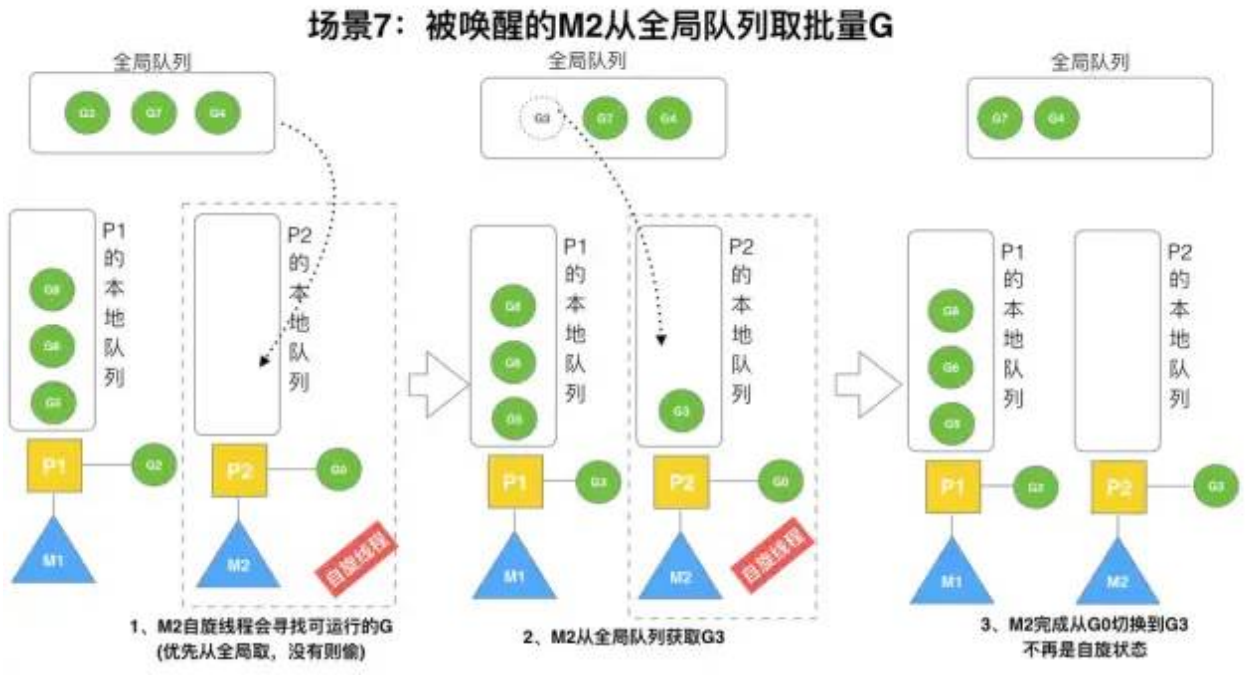
假定G2唤醒了M2，M2绑定了P2，并运行Go，但P2本地队列没有G，M2此时为自旋线程（没有G但为运行状态的线程，不断寻找G）。

场景7

M2尝试从全局队列(简称“GQ”)取一批G放到P2的本地队列（函数：`findrunnable()`）。M2从全局队列取的G数量符合下面的公式：

```
n = min(len(GQ)/GOMAXPROCS + 1, len(GQ/2))
```

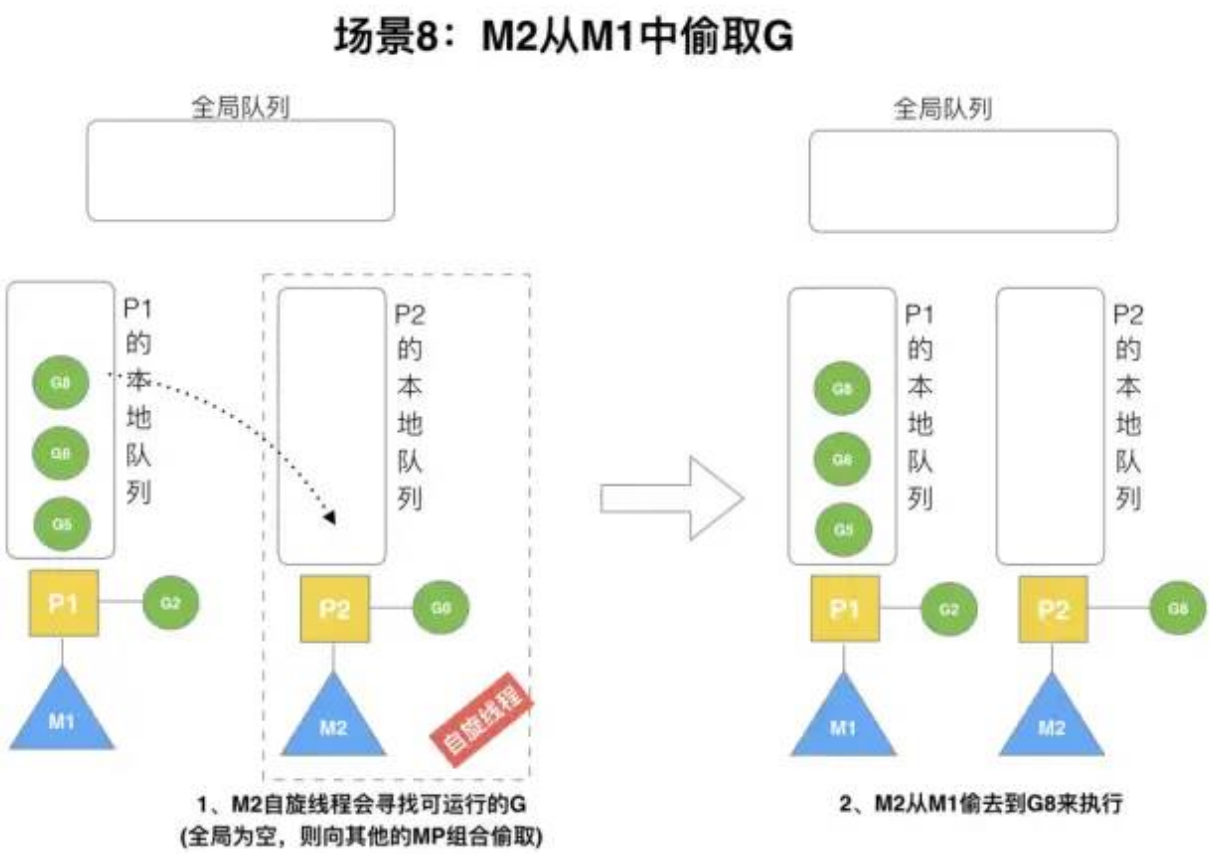
至少从全局队列取1个g，但每次不要从全局队列移动太多的g到p本地队列，给其他p留点。这是从全局队列到P本地队列的负载均衡。



假定我们场景中一共有4个P（GOMAXPROCS设置为4，那么我们允许最多就能用4个P来供M使用）。所以M2只从能从全局队列取1个G（即G3）移动P2本地队列，然后完成从G0到G3的切换，运行G3。

场景8

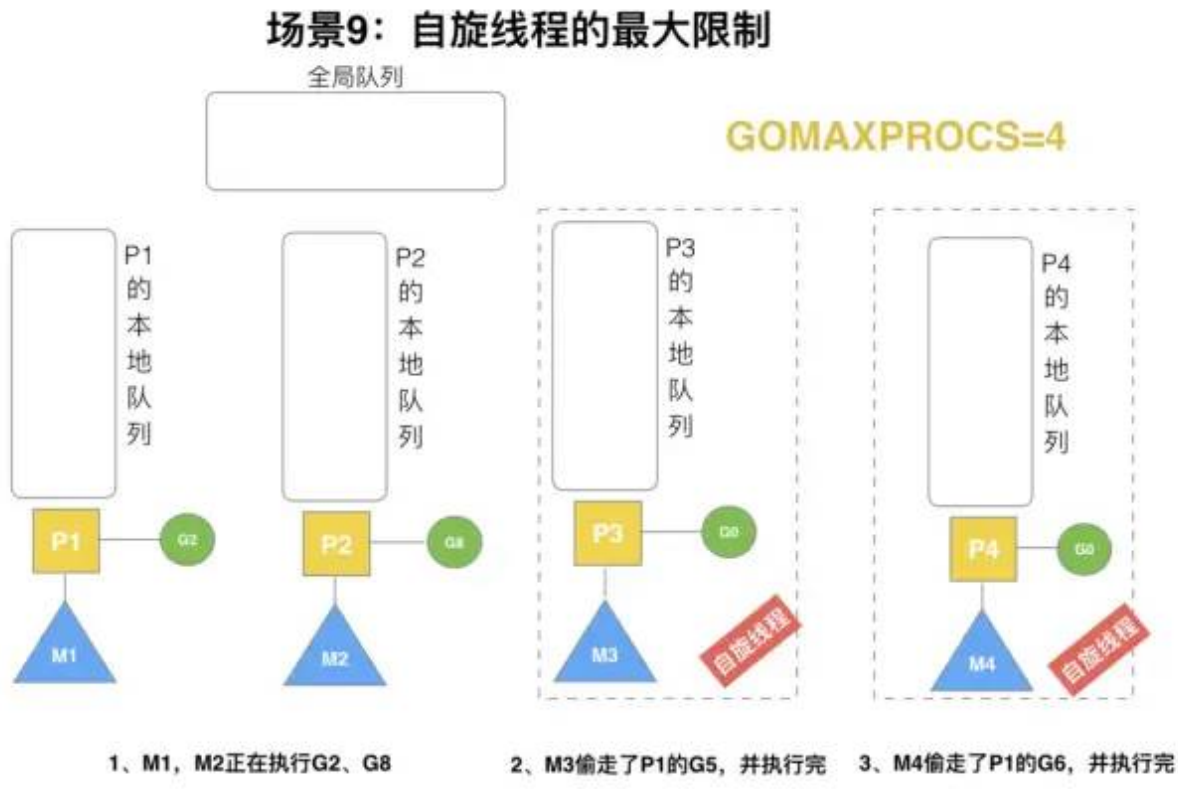
假设G2一直在M1上运行，经过2轮后，M2已经把G7、G4从全局队列获取到了P2的本地队列并完成运行，全局队列和P2的本地队列都空了,如场景8图的左半部分。



全局队列已经没有G，那m就要执行work stealing(偷取)：从其他有G的P哪里偷取一半G过来，放到自己的P本地队列。P2从P1的本地队列尾部取一半的G，本例中一半则只有1个G8，放到P2的本地队列并执行。

场景9

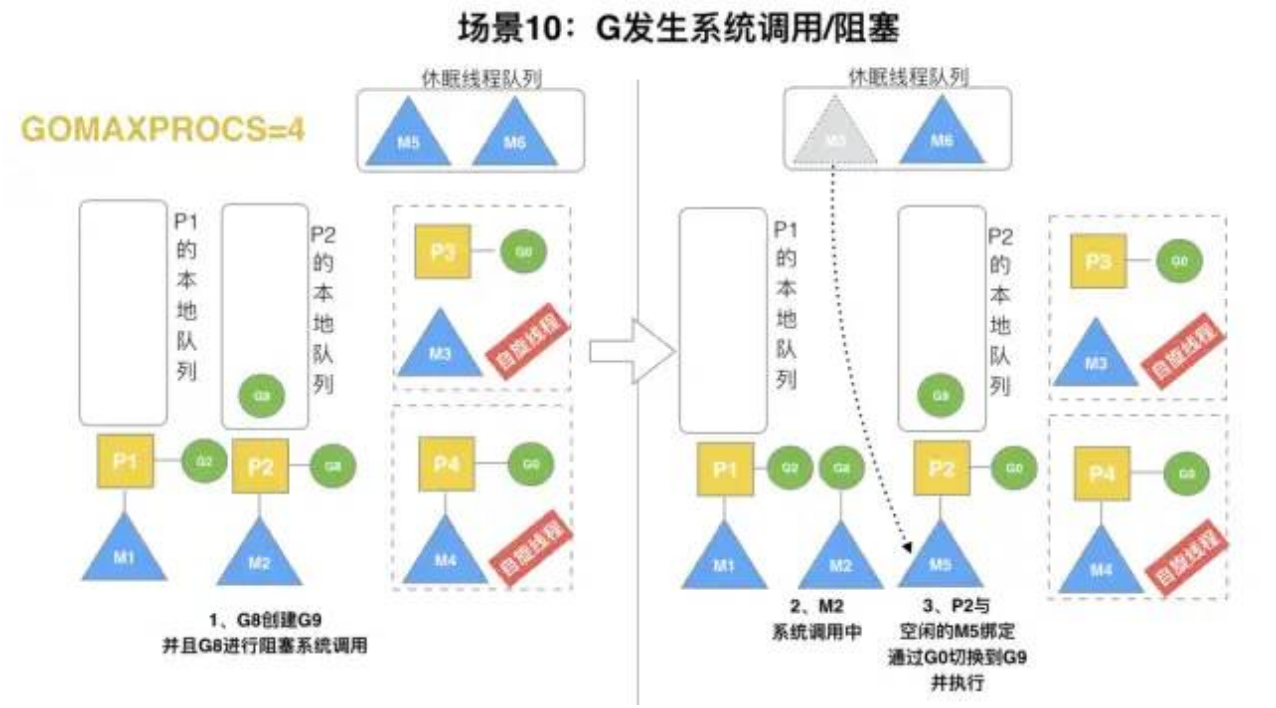
G1本地队列G5、G6已经被其他M偷走并运行完成，当前M1和M2分别在运行G2和G8，M3和M4没有goroutine可以运行，M3和M4处于自旋状态，它们不断寻找goroutine。



为什么要让m3和m4自旋，自旋本质是在运行，线程在运行却没有执行G，就变成了浪费CPU. 为什么不销毁现场，来节约CPU资源。因为创建和销毁CPU也会浪费时间，我们希望当有新goroutine创建时，立刻能有M运行它，如果销毁再新建就增加了时延，降低了效率。当然也考虑了过多的自旋线程是浪费CPU，所以系统中最多有 `GOMAXPROCS` 个自旋的线程(当前例子中的 `GOMAXPROCS` =4，所以一共4个P)，多余的没事做线程会让他们休眠。

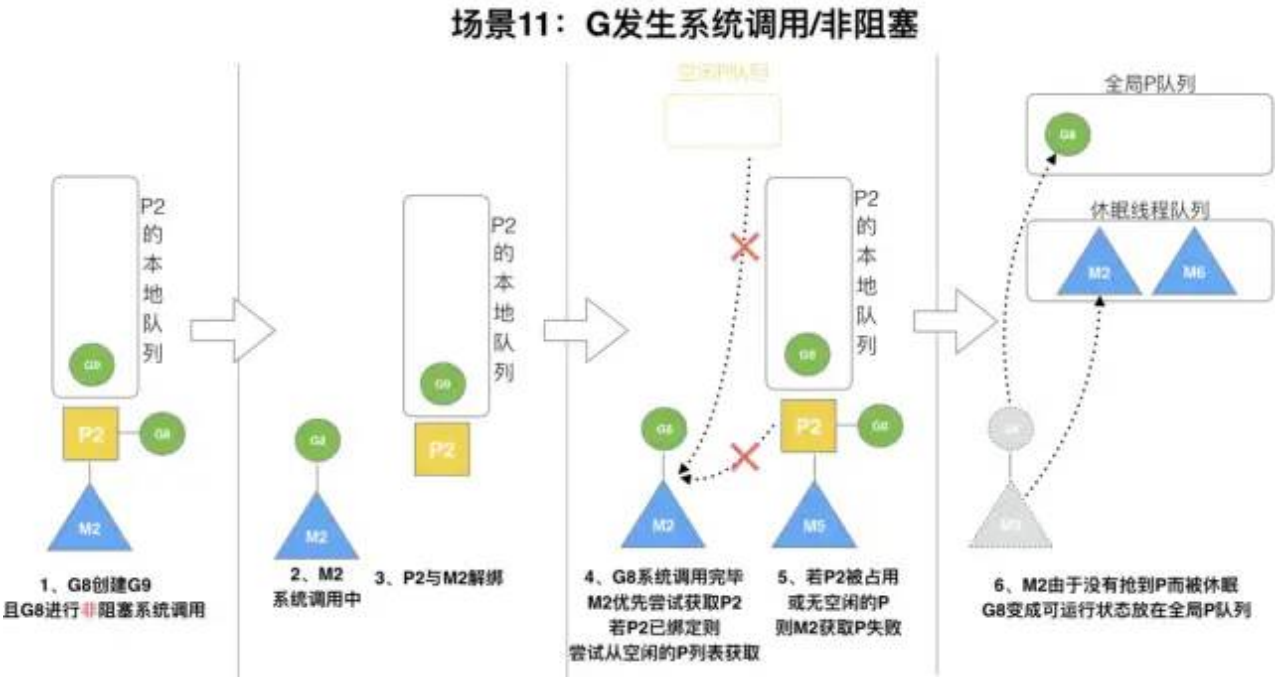
场景10

假定当前除了M3和M4为自旋线程，还有M5和M6为空闲的线程(没有得到P的绑定，注意我们这里最多就只能够存在4个P，所以P的数量应该永远是M>=P, 大部分都是M在抢占需要运行的P)，G8创建了G9，G8进行了阻塞的系统调用，M2和P2立即解绑，P2会执行以下判断：如果P2本地队列有G、全局队列有G或有空闲的M，P2都会立马唤醒1个M和它绑定，否则P2则会加入到空闲P列表，等待M来获取可用的p。本场景中，P2本地队列有G9，可以和其他空闲的线程M5绑定。



场景11

G8创建了G9，假如G8进行了非阻塞系统调用



M2和P2会解绑，但M2会记住P2，然后G8和M2进入系统调用状态。当G8和M2退出系统调用时，会尝试获取P2，如果无法获取，则获取空闲的P，如果依然没有，G8会被记为可运行状态，并加入到全局队列,M2因为没有P的绑定而变成休眠状态(长时间休眠等待GC回收销毁)。

四、小结

总结，Go调度器很轻量也很简单，足以撑起goroutine的调度工作，并且让Go具有了原生（强大）并发的能力。Go调度本质是把大量的goroutine分配到少量线程上去执行，并利用多核并行，实现更强大的并发。

感谢观看！

end

推荐阅读

大神是如何学习 Go 语言之调度器与 Goroutine

喜欢本文的朋友，欢迎关注“Go语言中文网”：

Go语言中文网启用微信学习交流群，欢迎加微信：274768166，投稿亦欢迎