

19 | 单服务器高性能模式：Reactor与Proactor

2018-06-09 李运华

从0开始学架构

[进入课程 >](#)



讲述：黄洲君

时长 13:15 大小 6.07M



[专栏上一期](#)我介绍了单服务器高性能的 PPC 和 TPC 模式，它们的优点是实现简单，缺点是都无法支撑高并发的场景，尤其是互联网发展到现在，各种海量用户业务的出现，PPC 和 TPC 完全无能为力。今天我将介绍可以应对高并发场景的[单服务器高性能架构模式：Reactor 和 Proactor](#)。

Reactor

PPC 模式最主要的问题就是每个连接都要创建进程（为了描述简洁，这里只以 PPC 和进程为例，实际上换成 TPC 和线程，原理是一样的），连接结束后进程就销毁了，这样做其实是很大的浪费。为了解决这个问题，一个自然而然的想法就是资源复用，即不再单独为每个连接创建进程，而是创建一个进程池，将连接分配给进程，一个进程可以处理多个连接的业务。

引入资源池的处理方式后，会引出一个新的问题：进程如何才能高效地处理多个连接的业务？当一个连接一个进程时，进程可以采用“read -> 业务处理 -> write”的处理流程，如果当前连接没有数据可以读，则进程就阻塞在 read 操作上。这种阻塞的方式在一个连接一个进程的场景下没有问题，但如果一个进程处理多个连接，进程阻塞在某个连接的 read 操作上，此时即使其他连接有数据可读，进程也无法去处理，很显然这样是无法做到高性能的。

解决这个问题的最简单的方式是将 read 操作改为非阻塞，然后进程不断地轮询多个连接。这种方式能够解决阻塞的问题，但解决的方式并不优雅。首先，轮询是要消耗 CPU 的；其次，如果一个进程处理几千上万的连接，则轮询的效率是很低的。

为了能够更好地解决上述问题，很容易可以想到，只有当连接上有数据的时候进程才去处理，这就是 I/O 多路复用技术的来源。

I/O 多路复用技术归纳起来有两个关键实现点：

当多条连接共用一个阻塞对象后，进程只需要在一个阻塞对象上等待，而无须再轮询所有连接，常见的实现方式有 select、epoll、kqueue 等。

当某条连接有新的数据可以处理时，操作系统会通知进程，进程从阻塞状态返回，开始进行业务处理。

I/O 多路复用结合线程池，完美地解决了 PPC 和 TPC 的问题，而且“大神们”给它取了一个很牛的名字：Reactor，中文是“反应堆”。联想到“核反应堆”，听起来就很吓人，实际上这里的“反应”不是聚变、裂变反应的意思，而是“**事件反应**”的意思，可以通俗地理解为“**来了一个事件我就有相应的反应**”，这里的“我”就是 Reactor，具体的反应就是我们写的代码，Reactor 会根据事件类型来调用相应的代码进行处理。Reactor 模式也叫 Dispatcher 模式（在很多开源的系统里面会看到这个名称的类，其实就是实现 Reactor 模式的），更加贴近模式本身的含义，即 I/O 多路复用统一监听事件，收到事件后分配（Dispatch）给某个进程。

Reactor 模式的核心组成部分包括 Reactor 和处理资源池（进程池或线程池），其中 Reactor 负责监听和分配事件，处理资源池负责处理事件。初看 Reactor 的实现是比较简单的，但实际上结合不同的业务场景，Reactor 模式的具体实现方案灵活多变，主要体现在：

Reactor 的数量可以变化：可以是一个 Reactor，也可以是多个 Reactor。

资源池的数量可以变化：以进程为例，可以是单个进程，也可以是多个进程（线程类似）。

将上面两个因素排列组合一下，理论上可以有 4 种选择，但由于“多 Reactor 单进程”实现方案相比“单 Reactor 单进程”方案，既复杂又没有性能优势，因此“多 Reactor 单进程”方案仅仅是一个理论上的方案，实际没有应用。

最终 Reactor 模式有这三种典型的实现方案：

单 Reactor 单进程 / 线程。

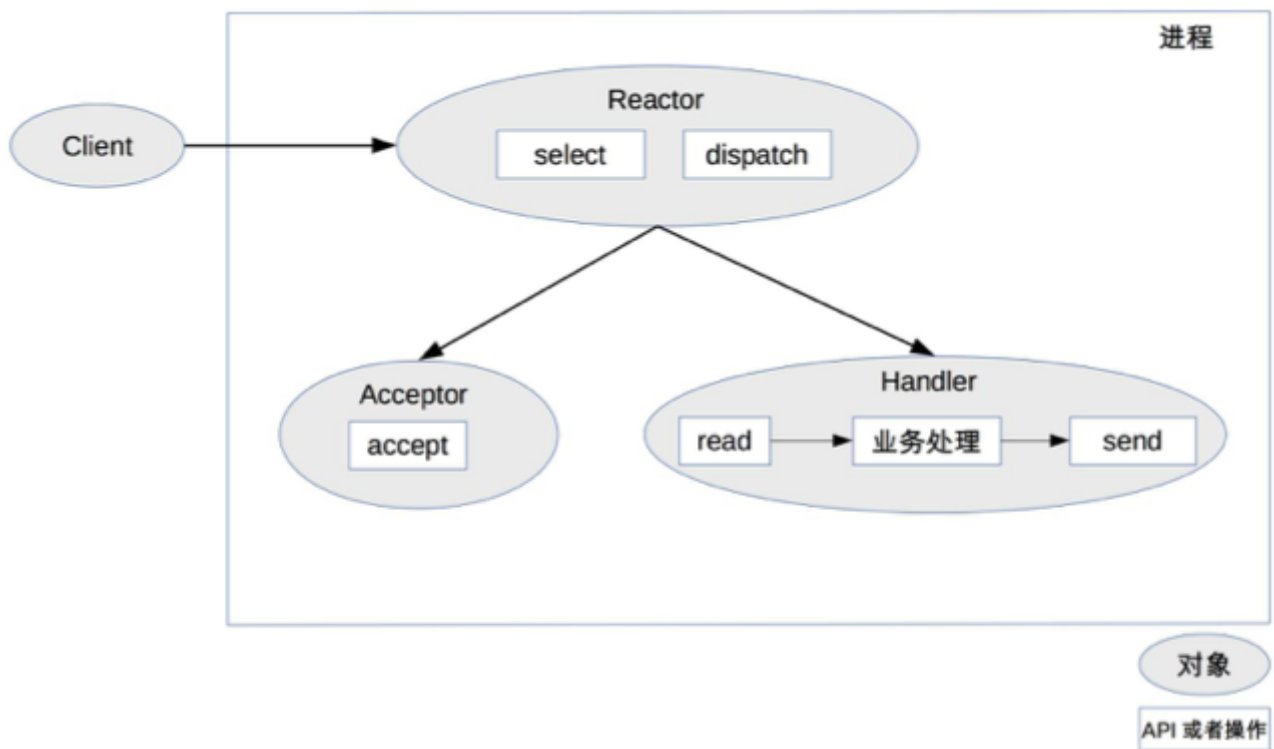
单 Reactor 多线程。

多 Reactor 多进程 / 线程。

以上方案具体选择进程还是线程，更多地是和编程语言及平台相关。例如，Java 语言一般使用线程（例如，Netty），C 语言使用进程和线程都可以。例如，Nginx 使用进程，Memcache 使用线程。

1. 单 Reactor 单进程 / 线程

单 Reactor 单进程 / 线程的方案示意图如下（以进程为例）：



注意，select、accept、read、send 是标准的网络编程 API，dispatch 和“业务处理”是需要完成的操作，其他方案示意图类似。

详细说明一下这个方案：

Reactor 对象通过 select 监控连接事件，收到事件后通过 dispatch 进行分发。

如果是连接建立的事件，则由 Acceptor 处理，Acceptor 通过 accept 接受连接，并创建一个 Handler 来处理连接后续的各种事件。

如果不是连接建立事件，则 Reactor 会调用连接对应的 Handler（第 2 步中创建的 Handler）来进行响应。

Handler 会完成 read-> 业务处理 -> send 的完整业务流程。

单 Reactor 单进程的模式优点就是很简单，没有进程间通信，没有进程竞争，全部都在同一个进程内完成。但其缺点也是非常明显，具体表现有：

只有一个进程，无法发挥多核 CPU 的性能；只能采取部署多个系统来利用多核 CPU，但这样会带来运维复杂度，本来只要维护一个系统，用这种方式需要在一台机器上维护多套系统。

Handler 在处理某个连接上的业务时，整个进程无法处理其他连接的事件，很容易导致性能瓶颈。

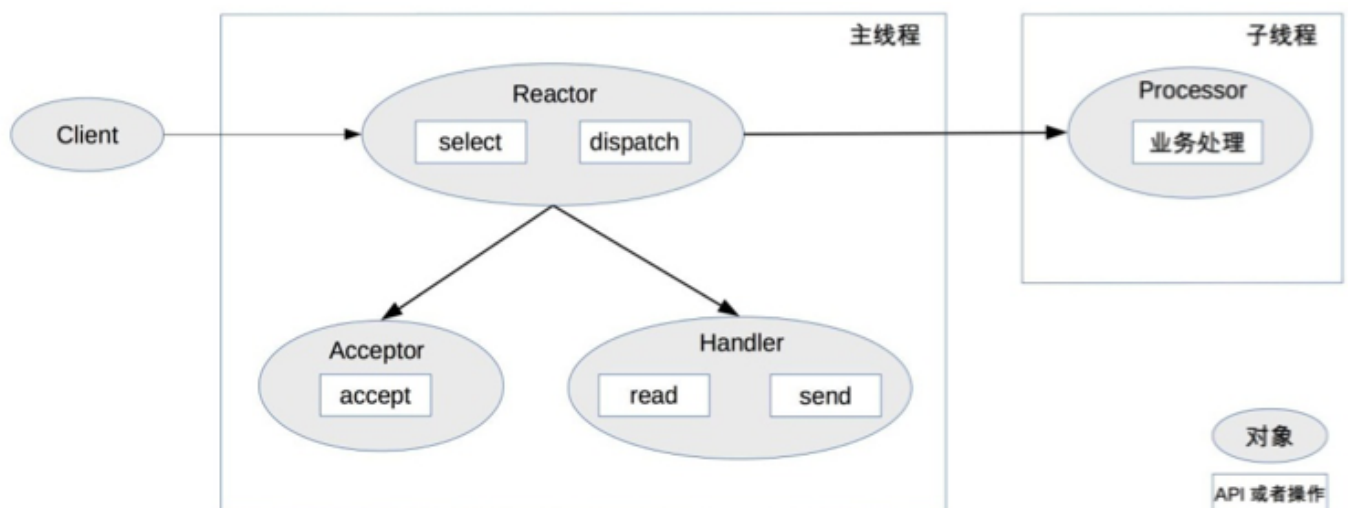
因此，单 Reactor 单进程的方案在实践中应用场景不多，**只适用于业务处理非常快速的场景**，目前比较著名的开源软件中使用单 Reactor 单进程的是 Redis。

需要注意的是，C 语言编写系统的一般使用单 Reactor 单进程，因为没有必要在进程中再创建线程；而 Java 语言编写的一般使用单 Reactor 多线程，因为 Java 虚拟机是一个进程，虚拟机中有很多线程，业务线程只是其中的一个线程而已。

2. 单 Reactor 多线程

为了克服单 Reactor 单进程 / 线程方案的缺点，引入多进程 / 多线程是显而易见的，这就产生了第 2 个方案：单 Reactor 多线程。

单 Reactor 多线程方案示意图是：



我来介绍一下这个方案：

主线程中，Reactor 对象通过 select 监控连接事件，收到事件后通过 dispatch 进行分发。

如果是连接建立的事件，则由 Acceptor 处理，Acceptor 通过 accept 接受连接，并创建一个 Handler 来处理连接后续的各种事件。

如果不是连接建立事件，则 Reactor 会调用连接对应的 Handler（第 2 步中创建的 Handler）来进行响应。

Handler 只负责响应事件，不进行业务处理；Handler 通过 read 读取到数据后，会发给 Processor 进行业务处理。

Processor 会在独立的子线程中完成真正的业务处理，然后将响应结果发给主进程的 Handler 处理；Handler 收到响应后通过 send 将响应结果返回给 client。

单 Reator 多线程方案能够充分利用多核多 CPU 的处理能力，但同时也存在下面的问题：

多线程数据共享和访问比较复杂。例如，子线程完成业务处理后，要把结果传递给主线程的 Reactor 进行发送，这里涉及共享数据的互斥和保护机制。以 Java 的 NIO 为例，Selector 是线程安全的，但是通过 Selector.selectKeys() 返回的键的集合是非线程安全的，对 selected keys 的处理必须单线程处理或者采取同步措施进行保护。

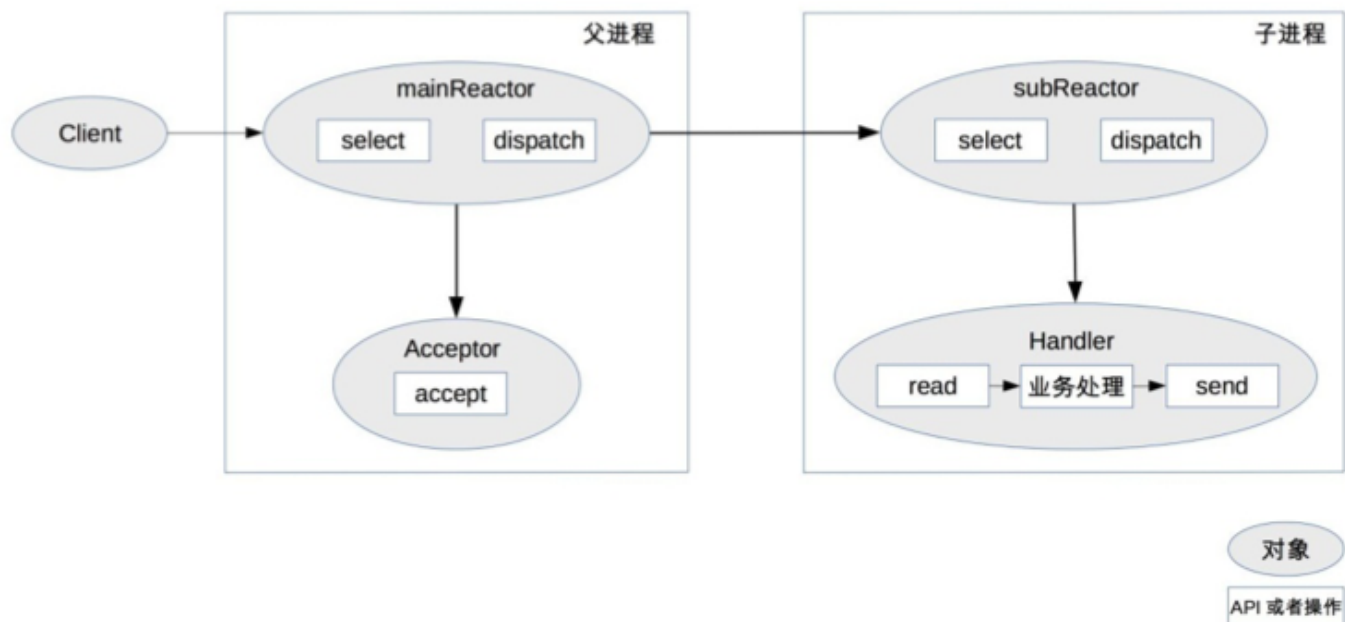
Reactor 承担所有事件的监听和响应，只在主线程中运行，瞬间高并发时会成为性能瓶颈。

你可能会发现，我只列出了“单 Reactor 多线程”方案，没有列出“单 Reactor 多进程”方案，这是什么原因呢？主要原因在于如果采用多进程，子进程完成业务处理后，将结果返回给父进程，并通知父进程发送给哪个 client，这是很麻烦的事情。因为父进程只是通过 Reactor 监听各个连接上的事件然后进行分配，子进程与父进程通信时并不是一个连接。如果要将父进程和子进程之间的通信模拟为一个连接，并加入 Reactor 进行监听，则还是比较复杂的。而采用多线程时，因为多线程是共享数据的，因此线程间通信是非常方便的。虽然要额外考虑线程间共享数据时的同步问题，但这个复杂度比进程间通信的复杂度要低很多。

3. 多 Reactor 多进程 / 线程

为了解决单 Reactor 多线程的问题，最直观的方法就是将单 Reactor 改为多 Reactor，这就产生了第 3 个方案：多 Reactor 多进程 / 线程。

多 Reactor 多进程 / 线程方案示意图是（以进程为例）：



方案详细说明如下：

父进程中 mainReactor 对象通过 select 监控连接建立事件，收到事件后通过 Acceptor 接收，将新的连接分配给某个子进程。

子进程的 subReactor 将 mainReactor 分配的连接加入连接队列进行监听，并创建一个 Handler 用于处理连接的各种事件。

当有新的事件发生时，subReactor 会调用连接对应的 Handler（即第 2 步中创建的 Handler）来进行响应。

Handler 完成 read→业务处理→send 的完整业务流程。

多 Reactor 多进程 / 线程的方案看起来比单 Reactor 多线程要复杂，但实际实现时反而更加简单，主要原因是：

父进程和子进程的职责非常明确，父进程只负责接收新连接，子进程负责完成后续的业务处理。

父进程和子进程的交互很简单，父进程只需要把新连接传给子进程，子进程无须返回数据。

子进程之间是互相独立的，无须同步共享之类的处理（这里仅限于网络模型相关的 select、read、send 等无须同步共享，“业务处理”还是有可能需要同步共享的）。

目前著名的开源系统 Nginx 采用的是多 Reactor 多进程，采用多 Reactor 多线程的实现有 Memcache 和 Netty。

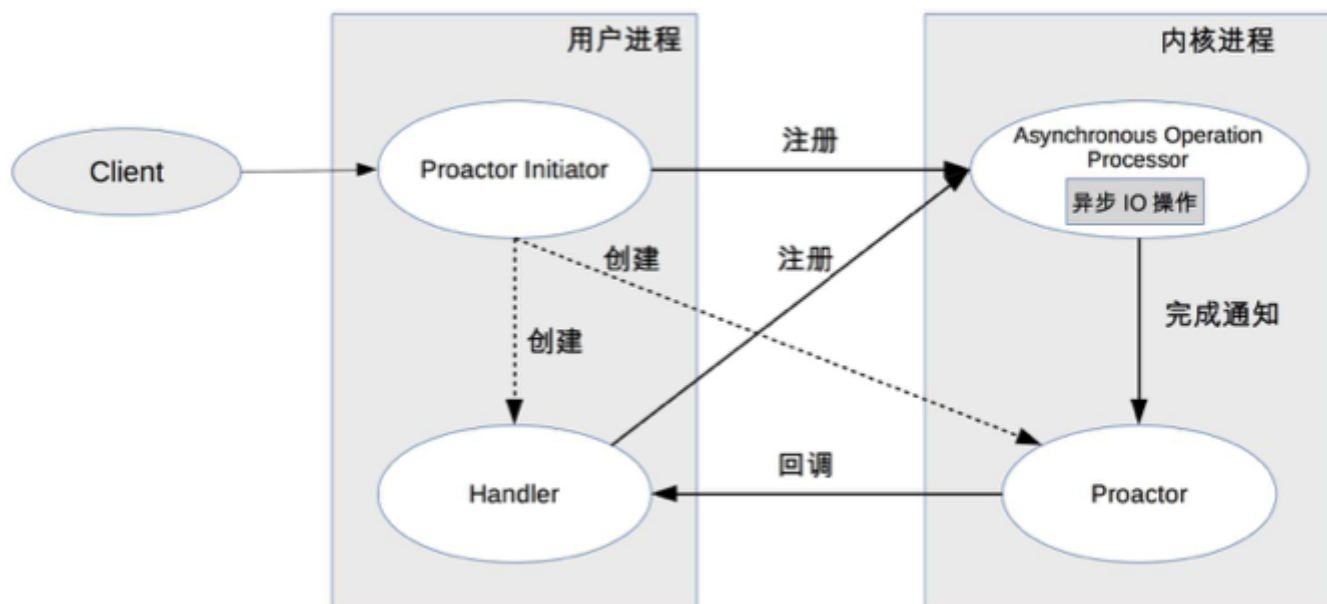
我多说一句，Nginx 采用的是多 Reactor 多进程的模式，但方案与标准的多 Reactor 多进程有差异。具体差异表现为主进程中仅仅创建了监听端口，并没有创建 mainReactor 来 “accept” 连接，而是由子进程的 Reactor 来 “accept” 连接，通过锁来控制一次只有一个子进程进行 “accept”，子进程 “accept” 新连接后就放到自己的 Reactor 进行处理，不会再分配给其他子进程，更多细节请查阅相关资料或阅读 Nginx 源码。

Proactor

Reactor 是非阻塞同步网络模型，因为真正的 read 和 send 操作都需要用户进程同步操作。这里的 “同步” 指用户进程在执行 read 和 send 这类 I/O 操作的时候是同步的，如果把 I/O 操作改为异步就能够进一步提升性能，这就是异步网络模型 Proactor。

Proactor 中文翻译为 “前摄器” 比较难理解，与其类似的单词是 proactive，含义为 “主动的”，因此我们照猫画虎翻译为 “主动器” 反而更好理解。Reactor 可以理解为 “来了事件我通知你，你来处理”，而 Proactor 可以理解为 “**来了事件我来处理，处理完了我通知你**”。这里的 “我” 就是操作系统内核，“事件” 就是有新连接、有数据可读、有数据可写的这些 I/O 事件，“你” 就是我们的程序代码。

Proactor 模型示意图是：



详细介绍一下 Proactor 方案：

Proactor Initiator 负责创建 Proactor 和 Handler，并将 Proactor 和 Handler 都通过 Asynchronous Operation Processor 注册到内核。

Asynchronous Operation Processor 负责处理注册请求，并完成 I/O 操作。

Asynchronous Operation Processor 完成 I/O 操作后通知 Proactor。

Proactor 根据不同的事件类型回调不同的 Handler 进行业务处理。

Handler 完成业务处理，Handler 也可以注册新的 Handler 到内核进程。

理论上 Proactor 比 Reactor 效率要高一些，异步 I/O 能够充分利用 DMA 特性，让 I/O 操作与计算重叠，但要实现真正的异步 I/O，操作系统需要做大量的工作。目前 Windows 下通过 IOCP 实现了真正的异步 I/O，而在 Linux 系统下的 AIO 并不完善，因此在 Linux 下实现高并发网络编程时都是以 Reactor 模式为主。所以即使 Boost.Asio 号称实现了 Proactor 模型，其实它在 Windows 下采用 IOCP，而在 Linux 下是用 Reactor 模式（采用 epoll）模拟出来的异步模型。

小结

今天我为你讲了单服务器支持高并发的高性能架构模式 Reactor 和 Proactor，希望对你有所帮助。

这就是今天的全部内容，留一道思考题给你吧，针对“前浪微博”消息队列架构的案例，你觉得采用何种并发模式是比较合适的，为什么？

欢迎你把答案写到留言区，和我一起讨论。相信经过深度思考的回答，也会让你对知识的理解更加深刻。（编辑乱入：精彩的留言有机会获得丰厚福利哦！）

从0开始学架构

—— 资深技术专家的
实战架构心法 ——

李运华 资深技术专家



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，未经许可不得传播售卖。页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 18 | 单服务器高性能模式：PPC与TPC

下一篇 20 | 高性能负载均衡：分类及架构

精选留言 (67)

写留言



林

2018-06-10

180

IO操作分两个阶段

- 1、等待数据准备好(读到内核缓存)
- 2、将数据从内核读到用户空间(进程空间)

一般来说1花费的时间远远大于2。

1上阻塞2上也阻塞的是同步阻塞IO...

展开 ▾

作者回复: 解释很清楚





林

2018-06-11

169

Reactor与Proactor能不能这样打个比方：

1、假如我们去饭店点餐，饭店人很多，如果我们付了钱后站在收银台等着饭端上来我们才离开，这就成了同步阻塞了。

...

展开

作者回复: 太形象了



正是那朵玫...

2018-06-09

25

根据华仔之前对前浪微博消息中间件的分析，TPS定位在1380，QPS定位在13800，消息要高可靠（不能丢失消息），定位在常量连接海量请求的系统吧。基于此来分析下吧。

1、单Reactor单进程/线程

redis采用这种模式，原因是redis是基于内存的数据库，在处理业务会非常快，所以不会...

展开

作者回复: 1. 分析正确，redis不太适合有的key的value特别大，这种情况会导致整个redis变慢，这种场景mc更好

2. prethread确实可以，mysql就是这种模式

3. 多reactor多线程再拆分业务线程，性能没有提升，复杂度提升不少，我还没见过这种方式。



空档滑行

2018-06-10

15

消息队列系统属于中间件系统，连接数相对固定，长链接为主，所以把accept分离出来的意义是不大的。消息中间件要保证数据持久性，所以入库操作应该是耗时最大的操作。综合起来我觉得单reactor，多线程/进程的方式比较合适。

展开

作者回复: 分析正确



正是那朵玫...

2018-06-15

12

感谢华仔，我也再实验了下netty4，其实handler的独立的线程池里面执行其实也没有问题，netty已经帮我们处理好了，当我们处理完业务，write数据的时候，会先放到一个队列里面，真正出站还是由io线程统一调度，这样就避免了netty3的问题！

展开

作者回复: 非常感谢，我明白了你说的情况，我再次验证了一下，写了一个独立线程处理业务的，确实如你所说，netty4两者都支持，并且做了线程安全处理，最终发送都是在io线程里面。

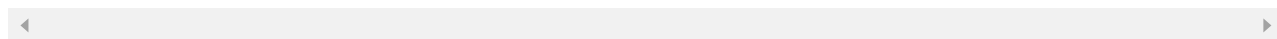
如果我们用这种模式，可以自己控制业务线程，因为netty4已经帮我们封装了复杂度，看来我孤陋寡闻了

不过我建议还是别无条件用这种模式，我们之前遇到的情况就是短时间内io确实很快，并发高，但如果业务处理慢，会积压请求数据，如果客户端请求是同步的，单个请求全流程时间不会减少；如果客户端请求是异步的，如果积压的时候宕机会丢较多数据。

其实这种情况我理解单纯加大线程数就够了，例如5个io线程加20个业务线程能达到最优性能的话，我理解25个融合线程性能也差不多。

我们之前有一个案例，http服务器业务处理线程配置了512个，后来发现其实配置128是最好的(48核)，所以说并不是线程分开或者线程数量多性能就一定高。

再次感谢你的认真钻研，我也学到了一个技术细节



赵正 Alle...

2018-06-11

10

对于两组概念的理解，欢迎吐槽

阻塞&非阻塞

这一组概念并偏向于系统底层的实现，常与OS进程调度相关。以socket为例，在阻塞模...

展开



赵正 Alle...

2018-06-10

9

一直做网络通讯相关的开发，用过ACE，boost asio。谈谈我的一些愚见，reactor

pattern 主要解决io事件检测和事件分派，其中，事件检测一般都是通过封装OS提供API实现，在Linux下最常用epoll，事件分派是将检测到的事件委托给特定的方法，一般通过接口继承或函数指针实现。除此之外，定时器，信号量也会集成到reactor框架中。
多线程or多进程，实际工作中，基本多线程模型，可以单线程事件检测，多线程分派， ...
展开 ∨



LinMoo

2018-06-09

👍 9

请教两个问题 谢谢

之前学习NIO和AIO的时候是这么描述的：进程请求IO（无论是硬盘还是网络IO），先让内核读取数据到内核缓存，然后从内核缓存读取到进程。这里面就有2个IO等待时间，第一个是读取到内核缓存，第二个是读取到进程。前者花费的时间远远大于后者。在第一个时间中进程不做等待就是NIO，即非阻塞。第二个时间中进程也不需要等待就是AIO，即异...
展开 ∨

作者回复: 你两个问题的理解都正确



正是那朵玫...

2018-06-14

👍 6

感谢华仔的解答，我看到在针对多reactor多线程模型，也有同学留言有疑问，我想请教下华仔，多reactor多线程模型中IO线程与业务处理在同一线程中，如果业务处理很耗时，定会阻塞IO线程，所以留言同学“衣申人”也说要不要将IO线程跟业务处理分开，华仔的答案是性能没有提升，复杂度提升很多，我还没见过这种处理方式，华仔对netty应该是很熟悉的，我的疑问是：在netty中boss线程池就是mainReactor，work线程池就是...
展开 ∨

作者回复: 非常感谢你的认真研究和提问，我对netty的原理有一些研究，也用过netty3，也看过一些源码，但也还达不到非常熟悉的地步，所以不管是网上的资料，还是我说的内容，都不要无条件相信，自己都需要思考，这点你做的很好👍

回到问题本身，由于netty4线程模型和netty3相比做了改进，我拿netty4.1源码中的telnet样例，在handler和NioEventloop的processSelectedKey函数打了输出线程id的日志，从日志结果看，StringEncoder, StringDecoder, TelnetServerHandler都在NioEventLoop的线程里面处理的。

如果handler在独立的线程中运行，返回结果处理会比较麻烦，如果返回结果在业务线程中处理，会出现netty3存在的问题，channel需要做多线程同步，各种状态处理很麻烦；如果返回结果还是

在io线程处理，那业务线程如何将结果发送给io线程也涉及线程间同步，所以最终其实还不如在一个线程里面处理。



文竹

2018-08-19

👍 3

服务基本上都是部署在Linux上的，所以仅能使用reactor。前浪微博的写QPS在千级别，读在万级别，一般单台稍微好点配置好点的机器都能承受这两个QPS，再加上这两个QPS因任务分配器被分摊到了多态机器，最终单台机器上的QPS并不高。所以使用单reactor多线程模式足矣。

展开 ▾

作者回复: 分析正确👍



沙亮亮

2018-07-16

👍 2

根据unix网络编程上说的，select和poll都是轮询方式，epoll是注册方式。为什么您说select也不是轮询方式

展开 ▾

作者回复: 两个轮询不是一个意思，select和poll是收到通知后轮询socket列表看看哪个socket可以读，普通的socket轮询是指重复调用read操作



孙振超

2018-07-14

👍 2

ppc和tpc时是每一个连接创建一个进程或线程，处理完请求后将其销毁，这样的性能比较低，为提升性能，首先考虑是链接处理完后不再销毁进程或线程，将这一部分的成本给降下来。改进后存在的问题是如果当前的链接没有请求又把进程或线程都给占住的情况下，新进来的链接就没有处理资源了。对此的解决方法是把io处理从阻塞改为非阻塞，这样当链接没有请求的时候可以去其他有请求的链接，这样改完后存在的问题有两个：一是寻...

展开 ▾

作者回复: 功能是ok的，但复杂度不一样，参考架构设计的简单原则



周飞

2018-07-05

👍 2

nodejs的异步模型是io线程池来监听io，然后通过管道通信来通知事件循环的线程。事件循环线程调用主线程注册的回调函数来实现的。不知道这种模式跟今天说的两种相比有什么优缺点啊

作者回复: 我理解这就是Reactor模式



Bayern

2018-06-10

👍 2

我能不能这样理解reactor，IO操作用一个连接池来获取连接，处理用线程池来处理任务。将IO和计算解耦开。这样就避免了在IO和计算不平衡时造成的浪费，导致性能低下。老师，我这样理解对吗



祖彦龙

2018-11-17

👍 1

I/O模型分为阻塞I/O，非阻塞I/O，I/O多路复用，信号驱动I/O，异步I/O五种类型。本文提到的reactor模式应属于，I/O多路复用；proactor模式应属于异步I/O。

展开 ▾



FelixSun

2018-11-14

👍 1

小白有一个问题困扰了好几天，可能也是经验不足没接触过这方面，请问一下。这里反复说的连接和请求究竟是什么意思？我查了一些资料，用MySQL举例，是不是说，mysql的连接数就是指的连接，mysql在最大连接数下支持的一秒内的请求处理数量是指的请求？

展开 ▾

作者回复: 连接你理解为tcp连接，请求你理解为一次sql语句执行



李继鹏

👍 1



2018-08-24

李老师能讲一下udp服务是否能用reactor模型吗？网上这方面的资料甚少

作者回复: 支持的，netty的NioDatagramChannel了解一下，直接用epoll也可以，epoll只管监听socket，tcp和udp都可以，差别在于udp只有一个socket描述符，因此只能用单Reactor



潘宁

2018-08-16

👍 1

Reactor和proactor主要是用来解决高并发的问题（ppc和tpc不能应对高并发）
打个比方，我们去点心店吃碗面，首先先得去收银台点单付钱，同步阻塞的情况是：我点了碗辣酱加辣肉面，然后我就在收银台等着，等到面来了，我拿着面去吃了，后面所有的人都无法点单无法下单(即使后面的人点的是已经做好的大排面也不能付钱拿面，老子还没好你们谁都不许动)，而reactor（同步非阻塞）的情况是我点了碗辣酱加辣肉面，钱付...

展开 ∨



21克

2018-07-24

👍 1

佩服佩服

展开 ∨



沙亮亮

2018-07-17

👍 1

两个轮询不是一个意思，select和poll是收到通知后轮询socket列表看看哪个socket可以读，普通的socket轮询是指重复调用read操作

感谢大神回复，那对于select实现的I/O多路复用技术，和普通的轮询区别在于，一个是socket上有数据时，系统通知select，然后select去轮询所有的socket，而普通的轮询就...

展开 ∨

作者回复: 1. 轮询理解OK

2. php-fpm我没有深入研究，你可以自己研究一下，这样学习效果会更好 😊



