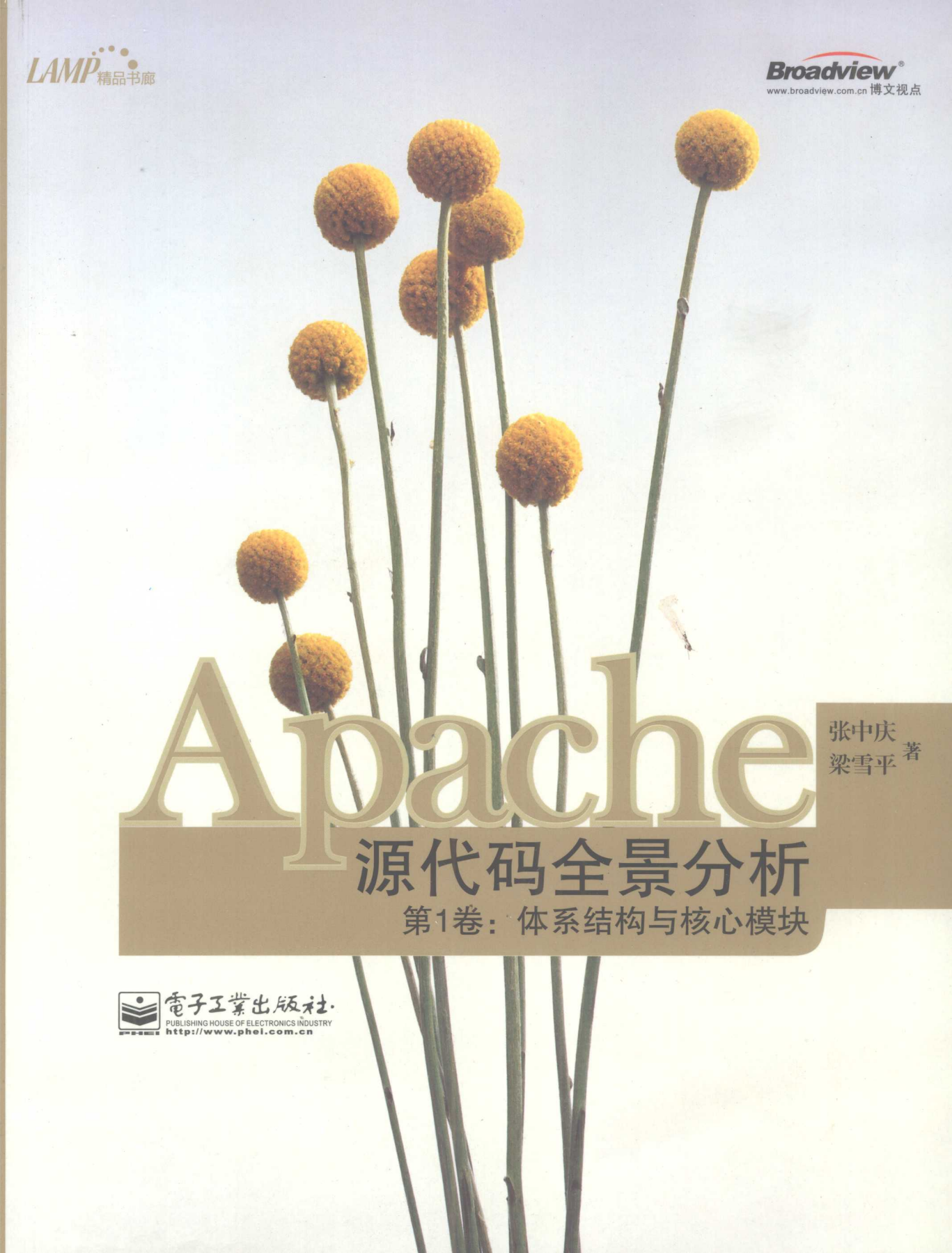




Apache

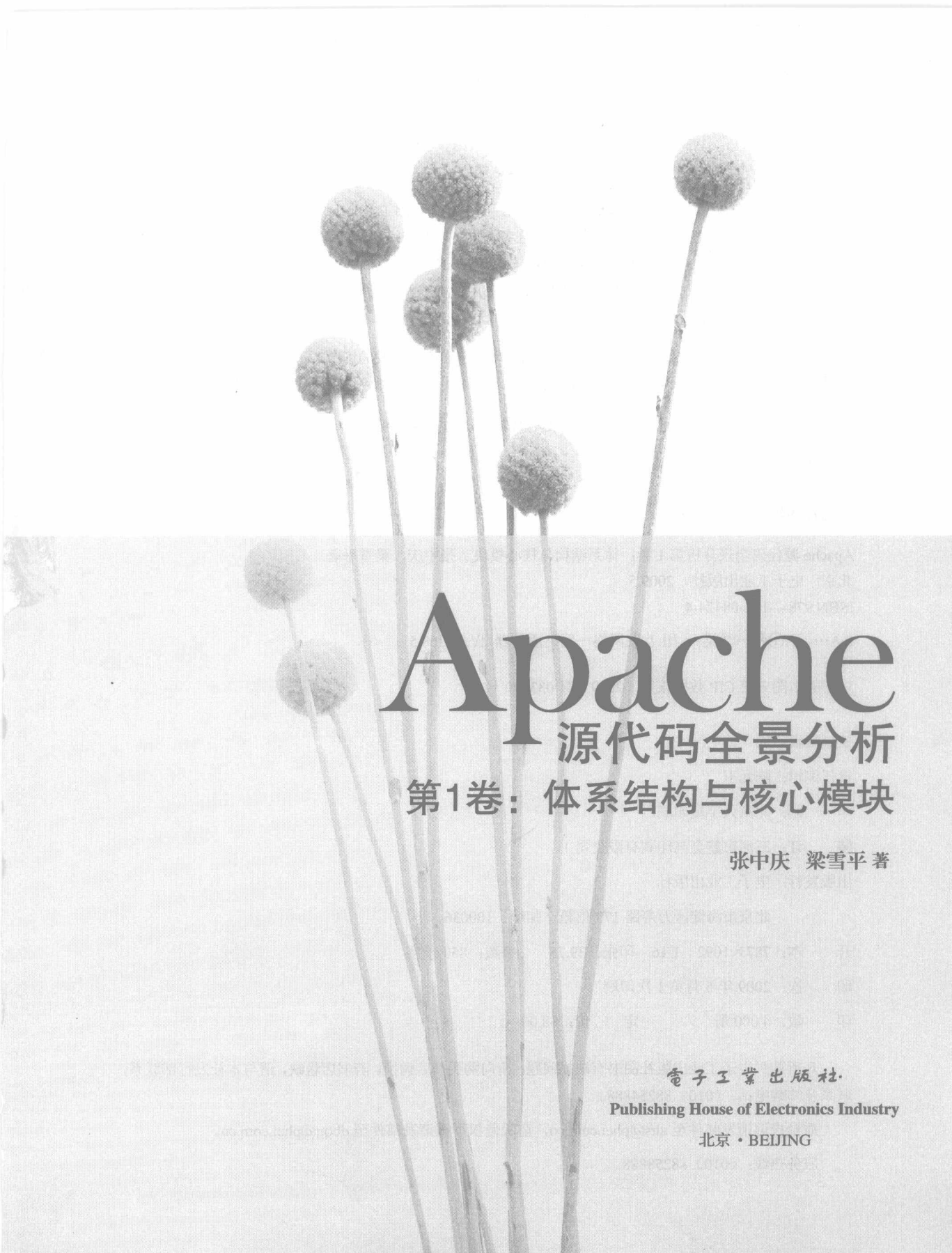
源代码全景分析

张中庆 著
梁雪平

第1卷：体系结构与核心模块



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



Apache

源代码全景分析 第1卷：体系结构与核心模块

张中庆 梁雪平 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是“Apache 源代码全景分析”的第 1 卷。书中详细介绍了 Apache 的基础体系结构和核心模块的实现机制,包括配置文件、模块化结构、多任务并发,以及网络连接和请求读取,其中多任务并发体系结构是本书分析的重点,讨论了 Prefork、Worker 及 WinNT 三种 MPM。本书还着重介绍了 Apache 2.0 新引入的过滤器,包括过滤器的使用、实现,以及其中的数据组织形式——存储段和存储段组,剖析了 Apache 中常用的过滤器。

本书的目的是深入挖掘 Apache 运行背后的实现机制和模块开发的细节,适合 Apache 模块开发者、希望了解内部细节的 Apache 管理员、Web 服务器开发者、大规模服务器开发者学习和阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

Apache 源代码全景分析第 1 卷:体系结构与核心模块 / 张中庆,梁雪平著.

北京:电子工业出版社,2009.5

ISBN 978-7-121-08474-4

I. A... II. ①张...②梁... III. 互联网络—网络服务器 IV. TP368.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 033890 号

策划编辑:周 筠

责任编辑:陈元玉

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:39.75 字数:850 千字

印 次:2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定 价:88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

作者访谈录



针对张中庆老师的新书《Apache 源代码全景分析第 1 卷：体系结构与核心模块》的出版，博文视点编辑对张中庆进行了邮件专访，现将博文编辑与张中庆的访谈对话整理成文，以飨读者。



博文编辑

张老师，您好！国内真正称得上“源码剖析”的图书非常少，分析 Apache 底层运作原理的著作更是凤毛麟角。得知您打算写这套书后，编辑部的同事对您的技术背景产生了浓厚的兴趣，可否请您简单回顾一下您的技术经历。

张中庆



我的工作经历非常简单，2000 年从西安交大计算机系本科毕业后，就职于一家国营企业，负责银行相关软件的开发，在此期间接触了 Unix 下的服务器开发，并且一直进行着相关的工作。三年后辞职回到西交攻读硕士学位，毕业后在腾讯参与 MMOG 游戏服务器端的开发，目前任职于 51.com。



博文编辑

您太谦虚了，写一套剖析源码的书除了要具备深厚的技术功底、丰富的实践经验外，更需要超出常人的毅力，您写第 1 卷花了 6 年的时间，是什么原因促使您决心写这本书的呢？

张中庆



阅读 Apache 的最初目的是希望能够了解大规模服务器的并发体系结构，提取一个可重用的网络框架。最初时只是希望了解 Apache 的并发体系结构，即现在的 MPM 模块，但是随着分析的深入，Apache 的更多内容也纳入了分析的范围。分析的时候经常会出现以前看过的内容过了一段时间后又忘记了，于是只好重新开始，为了避免这种情况，就养成了文档记录的

习惯。这些文档后来就发表到了 CSDN 的博客上。随着文档的增加，也就有了出版的打算，前前后后花了 6 年的时间。源码的分析和写作都是利用业余时间完成的，每天基本上只有两个多小时的时间，另外就是 Apache 实在太庞大，要理清它非常不容易，必须翻来覆去地看，前后连起来理解才行。

之所以能够坚持下来，最要感谢的是家人和朋友的鼓励，以及一些素不相识的对本书期待的读者的支持，每次想放弃的时候，是他们让我找到继续前行的力量。



博文编辑

您的这套书一共 3 卷，《Apache 源代码全景分析第 1 卷：体系结构与核心模块》只是其中第 1 卷，可否请您介绍一下这 3 卷书在内容上是如何分配的，以及它们的内在联系。

张中庆



第 1 卷主要从整体架构上讨论 Apache，重点讨论 Apache 的模块化体系结构和与模块相关的内容，包括配置、挂钩、过滤器等；第 2 卷主要讨论 Apache 请求处理的细节，包括 URL 重写、内容协商、认证授权、缓存，以及虚拟主机等内容；第 3 卷则主要介绍 Apache 的可移植运行库 APR，APR 是 Apache 的底层跨平台支撑库，这一卷重点分析 APR 的实现原理和 APR 的使用。



博文编辑

Apache 的特点是具有清晰的模块化架构，您在第 1 卷中是如何分析 Apache 最核心的内容，来帮助读者理解其实现细节的呢？

张中庆



每一个 Apache 的模块内部包含了配置指令、请求挂钩、过滤器三大类，卷 1 的绝大多数内容正是围绕这三方面展开的。对于大多数读者而言，它们接触最多的就是 Apache 的指令，因此卷 1 首先讨论了 Apache 中指令的相关概念及 Apache 中对配置文件和指令的处理细节。通过对内容的熟悉，引导用户进入到对 Apache 的分析中来。

模块是 Apache 的基础，在介绍完配置文件之后，紧接着第 5 章花了较大的篇幅来介绍 Apache 中的模块相关的概念，包括：Apache 的模块数据结构；Apache 是如何加载和组织模块的；模块指令表；模块中的挂钩；模块间的通信方式等。

在详细介绍完 Apache 的模块相关概念之后，第 7 章详细介绍了第一个模块——MPM 模块，该模块负责 Apache 的并发处理。第 7 章中还介绍了三种重要的并发方式——Prefork、Worker 和 WinNT MPM。

MPM 负责并发框架处理，同时还负责创建套接字、侦听套接字。对于 MPM 中的每一个进程或线程，它们接受客户端连接，然后从连接中读取请求数据。连接处理和请求读取的细节在第 8 章网络连接中讨论。

从网络中读取请求数据，由 Apache 中的 CORE_IN 过滤器完成；向网络中写入响应数据，由 CORE 过滤器完成。对于读取到的数据，它们交由核心进行处理之前，需要经过一系列的过滤器处理。因此在进一步深入请求处理的细节之前，必须了解过滤器的概念和实现原理。因此在卷 1 的最后三章，我们详细讨论了过滤器的细节。



博文编辑

近年来陆续有一些轻量级的 Web 服务器软件涌现，比如由德国人主持开发的 Lighttpd 和由俄罗斯人编写的 Nginx，您觉得这些“后生晚辈”会不会对 Apache 构成威胁。

张中庆



Lighttpd 和 Nginx 都属于轻量级的 Web 服务器，它们的出现自然会抢占一些属于 Apache 的市场份额。不过 Lighttpd、Nginx 和 Apache 并不是相互排斥，相互对立的。Lighttpd 和 Nginx 的长处在于处理静态页面，它们的处理速度可以达到 Apache 的 2~3 倍，极端情况下能达到 10 倍。因此通常情况下，Apache 用来作为后台服务器，处理 PHP、CGI 等，生成动态内容；Nginx 用来作为前端服务器，从而充分利用它占用资源少的优势来处理静态页面的大量请求，而 Lighttpd 则通常用于图片服务器。

可以相信，随着 Lighttpd 和 Nginx 的逐渐成熟和完善，它们也会成为主流的 Web 服务器，对 Apache 构成一定的威胁。

推荐序

如果说没有 Apache 就没有 Internet 可能有些夸张，但至少可以说没有 Apache，互联网就不会发展得这么快。根据互联网研究公司 NetCraft 的统计，多年来 Apache 一直稳居 Web 服务器市场的头把交椅，至今仍占据超过 50% 的市场份额。就整个互联网来说，Apache 仍然是最重要的软件之一。

尽管近几年来涌现出不少以“高性能”为卖点的新的 Web 服务器软件，比如 Lighttpd、Nginx 等，吸引了不少用户注意力，不过 Apache 因其功能广泛，某些方面仍具有不可替代性，仍然是 Web 服务器技术领域的风向标。话说回来，“重剑无锋，大巧不工”，有的时候软件性能表现不佳，更多原因可能是用户对其了解不够、使用不当造成的，并非软件自身有多大缺陷。对 Apache 来说，更是如此。因此，通过分析源代码了解 Apache 软件架构体系，熟知其本质，方能更有效地使用 Apache Web 服务器，使之发挥出最大效能。为网站节省资源，为企业节省资金，也能为用户提供更好的访问体验，好处多多。

此外，随着互联网业务的复杂化，很多网站在使用 Apache 的过程中也遇到了新的挑战，如常常要在业务的驱动下对 Apache 进行扩展性的开发（例如扩展日志模块以便于更复杂的日志统计）。这时，源代码分析是绕不过去的一件事儿，尽管源代码获取是轻而易举之事，但 Apache 代码毕竟凝聚了开源软件界的群体智慧，要想高效分析也并非易事，相信这本书能让有此需求的读者少走弯路，剥丝抽茧，获得更多启发与借鉴。

说起源代码分析，其实几年前市面上出现过一些有关此类话题的图书，但基本上是在大段源代码加上几句注释了事，读者可能会有吃到注水猪肉的感觉。而读者对本书这一点大可放心，书中代码只是点到即止，相对环保多了。

支付宝（中国）网络技术有限公司 数据架构师 冯大辉

<http://dbanotes.net>

2009 年 3 月于杭州

写作目的

从 Tim Berners-Lee 1991 年编写的 CERN HTTP 服务器算起, Apache 已经诞生了近 20 年的时间。这些年来, Apache 已经成为目前最为流行的 Web 服务器, 支撑着无数大小网站的运行。随着 Apache 技术的发展, 关于 Apache 的图书纷纷问世。但是, 这些书讨论的几乎都是如何对 Apache 进行管理和配置的, 只有很少的图书对 Apache 模块的开发进行分析和讲解。而对 Apache 体系结构和内部运行机制的介绍一直是空白。

众所周知, Apache 良好的模块化架构设计已经成为经典的服务器架构——易于扩展、易于维护。几乎每一个程序员都可以从 Apache 的架构中吸取到丰富的营养。虽然 Apache 的代码非常优美, 架构层次非常清晰, 但是在缺乏资料的情况下, 开发人员想在短时间内读懂 Apache 架构和内部细节并不是一件容易的事情。在陷入迷茫和一头雾水之后, 他们可能会选择放弃, 从而与 Apache 的优美架构失之交臂。

本书写作的目的就是通过阐述 Apache 源代码, 将 Apache 的整体架构和内部机制呈现给读者, 让更多的人了解和熟悉 Apache 架构。本书的另一个目的就是希望阐述 Apache 模块开发中会遇到的各种问题。

本书适合谁

- 顾名思义, 本书是一本深入分析 Apache 源代码的书籍。首先, 本书最适合于那些想急切了解 Apache 源代码内幕的读者, 他们能够从本书中了解到关于 Apache 内幕细节的方方面面, 从指令运行、模块细节到挂钩处理、请求处理等。
- 其次, Apache 模块开发者也是本书的读者。虽然本书并不是一本专门讲述如何开发模块的图书, 但是对于模块开发者而言, 他们可以通过本书了解到关于模块和模块开发的所有细节内容。本书并不仅限于告诉你如何照猫画虎地增加一个新的模块, 而是告诉你为什么要这么做。书中对于模块的每一个细节的阐释都非常清晰, 因此, 虽然本书并不是一本直接讲述模块开发的图书, 但是通过阅读本书, 你完全可以掌握其模块开发。

- 须要强调的是本书并不是一本讨论 Apache 管理的图书。因此，如果 Apache 管理员想从本书中找到如何编译安装使用 Apache、如何配置管理 Apache 是不可能的，这种书市场上已经多如牛毛。但是这并不意味着本书对 Apache 管理员来说没有任何的价值。对于 Apache 管理员来说，他们大部分时间是在对 Apache 配置文件进行处理，通过本书，管理员们可以了解到 Apache 配置文件及配置指令幕后运行的细节，不仅知其然而且知其所以然，在阅读了本书之后，你甚至可以自己扩展 Apache 的指令，对于高级管理员而言，通过源代码的分析，可以对 Apache 进行最优化调优。
- 如果你对 Apache 没有兴趣，但是你是一个服务器开发者，那么本书也会对你有相当的吸引力。本书以一百三十多页的篇幅来讨论 Apache 的多任务并发框架模块。各种 MPM 的介绍会有助于你的服务器开发。
- 如果你对 Apache 没有兴趣，而且也不是一个服务器开发者，只是一个普通的开发者，那么 Apache 的模块化思想也非常值得你借鉴。Apache 的高度模块化是 Apache 体系结构中最为核心的特性，熟悉和掌握这种思想，有助于开发良好的软件体系架构。

不同的开发人员对本书的关注点可以用表 0-1 描述。

表 0-1

开发角色	关注点
Apache 管理员	配置文件、配置指令
模块开发人员	全书内容
服务器开发人员	MPM 并发处理框架
普通开发者	模块化体系结构

你需要什么技术基础

尽管谁都可以阅读本书，但是，如果想深入理解书中分析的内容，你必须具备以下几个条件。

1. 熟悉 C 语言

Apache 的所有源代码都是使用 C 语言开发的。因此，如果你不熟悉 C 语言，则最好不要阅读本书。如果你熟悉 C++，则会更好。Apache 中的很多设计都借鉴了 C++ 的一些思想，了解 C++，会让你更容易理解这些设计。

2. 了解 HTTP 协议相关的内容

Apache Web 服务器本质上是处理 HTTP 协议的服务器，因此，如果我们想理解 Apache 的链接请求处理细节，则必须了解 HTTP 协议。当你阅读本书的时候，手上最好能有一个 HTTP 协议规范参考。

3. 了解 Apache 配置

对 Apache 配置文件和配置指令的处理贯穿于整个 Apache 的运行期间。Apache 启动的时候将构建配置树，在对请求处理的时候将读取配置信息。如果对 Apache 的配置指令体系不熟悉，则会妨碍你的阅读和理解。

本书的主要内容

本书是 Apache 源代码全景分析系列的第 1 卷——体系结构与核心模块，全书分为 9 章。

第 1 章 Web 服务器概述

本章简要介绍了整个 Internet 的发展历史及 Apache 服务器的发展历史，并简要介绍了 HTTP 服务器的工作方式。在本章的最后部分，我们重点讲述了 Apache 服务器所具备的功能。

第 2 章 Apache 体系结构

本章从整体上介绍了 Apache 的三层体系结构，并着重介绍了核心功能层，分析了核心功能层中各个重要的组件及它们之间的相互依赖关系。另外本章还讲述了 Apache 的运行流程及主函数的实现细节。

第 3 章 配置文件管理

配置文件管理是 Apache 的基础核心模块。本章详细介绍了配置文件中指令的相关概念，包括指令的上下文、指令参数，同时详细分析了 Apache 中对指令的实现。基于指令的概念，本章的另外一个讨论重点就是 Apache 中对配置文件的读取，读取后指令在内存中的组织方式，以及指令如何被调用执行。本章最后还介绍了自行增加一个 Apache 中并不存在的新的指令配置段。

第 4 章 Apache 模块化体系结构

Apache 模块化体系结构是本书介绍的重点内容之一，通过模块化，Apache 可以很方便地进行第三方扩展及裁剪。本章详细介绍了模块数据结构，并对模块结构中成员的上下文进行介绍，包括指令表、挂钩、配置结构操作指针，能让读者能够透彻理解与模块相关的方方面面，不仅知其然，而且知其所以然。除此之外，本章还介绍了核心模块如何加载的过程，以及 Apache 模块通信所采用的各种策略，包括简单通信方式、可选函数通信方式及提供者 API 方式。本章最后对 Apache 中的一些常用模块进行了简单介绍。

第 5 章 多任务并发处理

Apache 能够同时处理大量的并发连接，这得益于 Apache 的 MPM 模块。MPM 将网络连接相关的处理独立成为模块的形式，这样不同的平台可以使用不同的并发模型，从而达到最优的效果。本章重点讨论了 Prefork MPM、Worker MPM 和 WinNT MPM 三种并发模型。

第6章 网络连接

本章介绍了连接处理相关的内容。首先介绍了连接处理的4个阶段，并详细介绍了等待连接阶段的创建套接字和侦听套接字的流程。在连接处理阶段则介绍了创建连接和读取连接的细节。在接收到连接后，就需要从连接中读取 HTTP 请求。本章最后一节讨论了请求读取的细节，包括如何读取 HTTP 请求行、请求头及请求报文体。

第7章 过滤器

对于客户端输入，Apache 并不一定会原封不动地提交给核心模块去处理，它可能要经过一些其他处理才会提交给核心模块；与此相同，核心生成的内容也不会原封不动地发送给客户端，也可能会经过一些转换。对于输入和输出的内容进行转换处理是由过滤器完成的。本章详细介绍了过滤器的基本概念、过滤器在核心的组织结构、过滤器的使用及智能过滤器的概念和使用。

第8章 存储段和存储段组

当数据在过滤器中流动传递的时候，数据是以存储段组的形式组织的。每一个存储段组包含多个存储段，每一个存储段是一种数据类型的抽象。本章详细介绍了核心提供的11种存储段类型及它们的操作接口。同时还介绍了存储段的操作细节和内部实现细节。本章最后介绍了存储段组是如何与过滤器结合在一起使用的。

第9章 常用过滤器

本章介绍了常用的过滤器，包括网络处理的 CORE_IN、CORE 过滤器，Chunk 编码的 Chunk 过滤器。本章最后，我们引导读者编写了一个关键字高亮过滤器和题头题尾添加过滤器。通过本章的学习，读者可以很容易实现自己的新的过滤器。

本书的阅读方法

本书的厚度和难度并不适合一口气读完，而且本书源代码分析的特性决定了仅仅阅读本书还不够，必须在基于浏览代码的基础上同步阅读本书。

本书的 Apache 代码基于 2.2.8 版本，读者在阅读之前请去 <http://httpd.apache.org> 下载一份代码。对于阅读和分析代码，笔者推荐使用的工具是 SourceInsight。

理解代码的最好方式就是跟踪和调试。因此勤于调试能有助于你对 Apache 源代码和本书内容的理解。

另外本书中的代码并不是与实际代码一一对应的。为了节省版面，大部分代码中的注释和日志记录代码都被剔除，不过日志对于阅读代码还是非常有益的，通过错误提示，能够帮助你理解上下文操作的背景。

作者联系方式

本书大部分内容都可以在笔者的博客 (<http://blog.csdn.net/tingya>) 上找到, 只是没有经过整理。如果您有什么想法和意见可以到博客上去留言。

感谢

从 2003 年开始酝酿到本书出版, 已经整整 6 年过去了。在这 6 年里, 真心感谢那些陪伴自己走过的人。

首先要感谢的是我的妻子。每个夜晚, 每个周末我伏案写作无暇陪她, 她也毫无怨言。

感谢我的导师齐勇教授, 在我读研没空顾及项目的时候, 他给了我一次又一次的鼓励, 他甚至想为我的兴趣单独申请一个课题。在齐勇教授的身边, 我学会了很多专业知识以外的东西。

感谢我的同学和朋友温辉敏, 每当我几乎要退却的时候, 他总能及时提醒我, 督促我, 没有他, 也许大家还要多等一些时候。

感谢腾讯的刘海宝, 当本书还是草稿的时候, 他就是本书的第一个忠实读者, 并且为本书提供了一些有价值的意见。

感谢 51.com IM 事业部的同事们, 在与你们相处的工作中非常愉快和开心, 也希望你们能够谅解我在本书上投入的过多精力, 他们是但汉权、胡佳佳、胡名雨、郭祥洲、刘庆平、尹波、易念华、张剑波、赵宏华。

感谢本书的编辑周筠和陈元玉, 感谢她们给我的一贯支持, 在因故延后交稿的时候, 她们仍然在耐心地等待, 感谢她们编辑本书付出的辛勤劳动! 感谢杨福川编辑, 正是他才使得本书的出版成为可能。

感谢您在茫茫的书海中选择了本书, 并衷心祝愿您能从本书中受益。

升东网络科技发展(上海)有限公司 高级工程师 张中庆
2009 年 3 月于上海

联系博文视点

您可以通过如下方式与本书的出版方取得联系。

读者信箱: reader@broadview.com.cn

投稿信箱: bvtougao@gmail.com

北京博文视点资讯有限公司 (武汉分部)

湖北省 武汉市 洪山区 吴家湾 邮科院路特 1 号 湖北信息产业科技大厦 1402 室

邮政编码: 430074

电 话: 027-87690813

传 真: 027-87690595

若您希望参加博文视点的有奖读者调查, 或对写作和翻译感兴趣, 欢迎您访问: <http://bv.csdn.net>

关于本书的勘误、资源下载及博文视点的最新书讯, 欢迎您访问博文视点官方博客:
<http://blog.csdn.net/bvbook>

目 录

第 1 章 Web 服务器概述	1
1.1 WWW 概述	2
1.1.1 Internet 概述	2
1.1.2 超文本的概念	3
1.1.3 WWW 的历史	4
1.2 HTTP 服务器	8
1.2.1 HTTP 服务器简介	8
1.2.2 HTTP 服务器功能	9
1.2.3 WWW 文档	11
1.2.4 工作方式	12
1.3 Apache 功能	15
1.3.1 虚拟主机	16
1.3.2 内容协商	16
1.3.3 持续连接	17
1.3.4 缓存	18
1.3.5 访问控制和安全	20
1.3.6 动态内容生成	21
第 2 章 Apache 体系结构	23
2.1 Apache 目录	24
2.2 Apache 层次结构	26
2.2.1 操作系统支持层	27
2.2.2 可移植运行库层	27
2.2.3 核心功能层	28
2.2.4 可选功能层	29
2.2.5 第三方支持库	29
2.2.6 Apache 工具包	30
2.3 Apache 核心功能层	30
2.3.1 核心与可选模块的关系	30

2.3.2 核心组件	30
2.4 Apache 运行流程	34
2.4.1 Apache 启动过程	35
2.4.2 HTTP 连接处理	36
2.4.3 请求报文读取	36
2.4.4 请求处理	37
2.4.5 内容生成	39
2.4.6 关闭与重启	40
2.5 主程序 main	41
2.5.1 主程序概要	41
2.5.2 主程序细节	42
第 3 章 配置文件管理	51
3.1 Apache 配置系统	52
3.2 配置文件	52
3.2.1 配置文件类	52
3.2.2 配置文件处理时机	54
3.3 指令相关概念	56
3.3.1 指令概述	56
3.3.2 指令参数	57
3.3.3 指令上下文	59
3.3.4 指令参数类型	73
3.4 指令配置	76
3.4.1 指令结构	76
3.4.2 指令定义	77
3.4.3 预定义指令函数	79
3.4.4 指令表	80
3.5 Apache 配置处理	81
3.5.1 指令保存	81
3.5.2 指令读取	83
3.5.3 配置指令处理	98
3.5.4 特殊指令	112
3.6 .htaccess 处理	115
3.6.1 .htaccess 使用场合	115
3.6.2 指令的覆盖	116
3.6.3 处理 .htaccess	117
3.7 实现自己的配置段	120

第 4 章	Apache 模块化体系结构	123
4.1	Apache 模块概述	124
4.1.1	Apache 模块组成	124
4.1.2	Apache 核心与模块交互	125
4.2	Apache 模块结构	127
4.3	模块的加载	132
4.3.1	模块变量	132
4.3.2	DSO (Dynamic Shared Object, 动态共享对象) 的概念	134
4.3.3	静态模块加载	137
4.3.4	动态模块加载	141
4.3.5	模块卸载	146
4.4	指令表	147
4.4.1	指令表概述	147
4.4.2	指令处理函数	148
4.4.3	指令共享	151
4.5	挂钩 (HOOK)	154
4.5.1	为什么引入挂钩	154
4.5.2	声明挂钩	158
4.5.3	挂钩数组声明 (APR_HOOK_LINK)	162
4.5.4	挂钩结构 (APR_HOOK_STRUCT)	162
4.5.5	挂钩函数注册 (APR_IMPLEMENT_EXTERNAL_HOOK_BASE)	164
4.5.6	使用挂钩	165
4.5.7	挂钩排序	168
4.5.8	可选挂钩	179
4.5.9	挂钩纵览	184
4.5.10	自己编写挂钩	191
4.6	模块与配置文件	192
4.6.1	概述	192
4.6.2	如何描述配置信息	194
4.6.3	目录相关配置 (Per-Directory Config)	195
4.6.4	服务器配置 (Per-Server Config)	198
4.7	配置存储和使用	199
4.7.1	配置向量	199
4.7.2	配置存储体系结构	201
4.7.3	虚拟主机配置存储	202
4.7.4	目录配置存储	203

4.7.5	Location 配置存储	205
4.7.6	文件配置存储	205
4.7.7	总体存储示意	206
4.8	模块通信	207
4.8.1	简单通信方式	208
4.8.2	可选函数	209
4.8.3	提供者 API	212
4.9	常用模块	216
4.9.1	缓存模块	216
4.9.2	URL 映射模块	217
4.9.3	内容生成模块	219
4.9.4	安全模块	221
4.9.5	代理模块	223
4.9.6	其余模块	224
第 5 章	多任务并发处理	227
5.1	多进程并发处理	228
5.1.1	概述	228
5.1.2	MPM 在 Apache 中的位置	229
5.2	MPM 数据结构	231
5.2.1	记分板	231
5.2.2	终止管道 (Pipe of Death)	244
5.3	Inetd: 通用的多任务处理结构	247
5.3.1	服务器程序概述	247
5.3.2	INETD	249
5.4	预创建 (Prefork) MPM 分析	249
5.4.1	Leader/Follow 模式	249
5.4.2	Prefork MPM 概述	250
5.4.3	Prefork MPM 实现	253
5.5	工作者 (Worker) MPM 分析	291
5.5.1	Worker MPM 概述	291
5.5.2	Worker 主进程	294
5.5.3	子进程管理	305
5.5.4	线程管理	310
5.5.5	信号处理	323
5.6	WinNT MPM 分析	326
5.6.1	WinNT MPM 概述	326