

第四章 系统功能测试与性能分析

4.1 Web 服务器测试总述

本文已经实现了一个基于 I/O 多路复用的并发 Web 服务器，在本章中将针对该 Web 服务器进行系统功能测试和性能分析的工作。测试内容主要包括网络通信与资源操作功能测试、服务器提供包含静态内容或者动态内容 Web 服务功能测试以及对 Web 服务器的抗并发能力和性能的测试与分析。

在本章的测试中，Web 服务器和作为 Web 客户端的浏览器都运行在一台计算机上，系统功能测试也是在这一台计算机上完成的。系统功能测试的软硬件配置和抗并发能力与性能测试中的压力测试工具如下：

计算机型号：小米笔记本电脑 Air 13

处理器：Inter(R) Core(TM) i5-6200U CPU @ 2.30GHz 2.40Ghz

内存 RAM：8.00GB

操作系统：Ubuntu 18.04.3 LTS 64-bit

浏览器：Google Chrome Version 78.0.3904.70 (Official Build) (64-bit)

压力测试工具：webbench 1.5 和 wrk 4.1.0

在上文中已经提到本章的测试内容主要包括三部分。首先，是网络通信与资源操作功能测试，在这部分中本文基于 Linux 命令行的方式使用 telnet 命令测试 Web 服务器的网络通信功能，并使用命令行编辑 HTTP 请求发送给 Web 服务器测试器资源操作功能。然后，本文中制作了一个整合动态内容服务和各类静态内容服务如图 4.1 所示的网页来测试 Web 服务器提供 Web 服务的功能，页面菜单栏中的 Home、The Docs、Key Tech 和 Impl 是包含文本、图像、文件和视频等静态内容服务测试的子页面，而 Dyna 子页面则是测试 Web 服务是否能够提供动态内容服务的测试页面。最后，本文中使用 webbench 和 wrk 两个轻量级的 Web 服务器压力测试工具来检测 Web 服务器的抗并发能力，并根据两组测试信息分析 Web 服务器的性能。

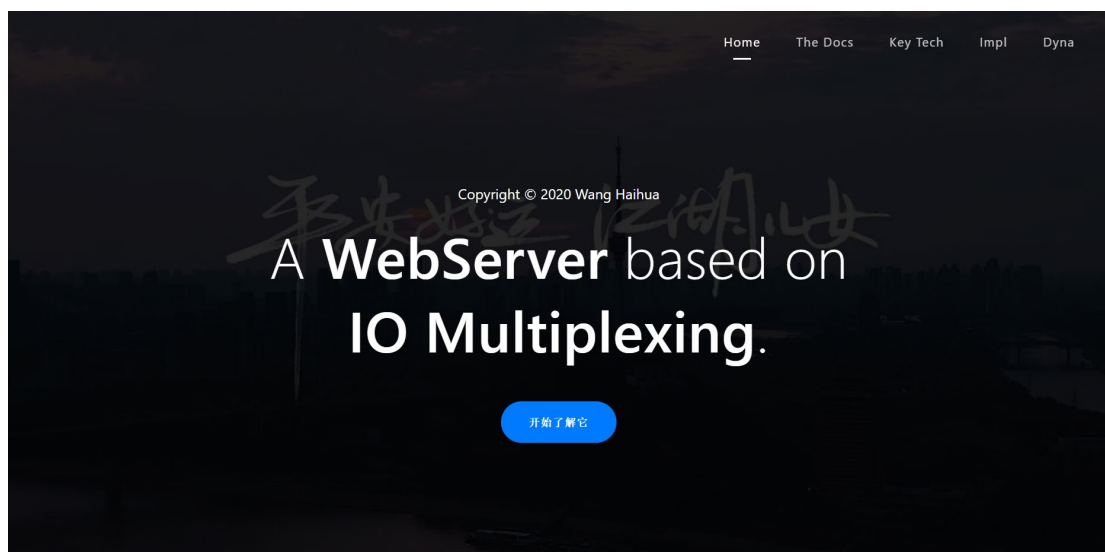


图 4.1 Web 服务测试网页

5000/index.html”指向 Web 服务器并访问 index 页面，请求内容在被 Web 服务器处理之后经过资源操作将响应结果返送给浏览器并通过浏览器呈现给用户。在图中可以看到在处理 HTTP 请求后 Web 服务器进程中打印了很多 HTTP 请求信息，包括服务器域名 Host、Web 客户端名称 User-Agent、Web 客户端可理解的语言和编码格式 Accept-Language 和 Accept-Encoding；同时也会打印 HTTP 响应的响应行和响应报头信息，响应主体则直接显示在浏览器中。图 4.3 展示了请求访问 HTML 文件的结果，这是 Web 服务器测试页面的主页面包含背景图片和一些文本内容。同时图中也展示了 Web 服务器进程的运行状态，在后续的静态内容服务不同静态资源请求访问测试中也会由相似的 Web 服务器进程运行状态，将不再重复讲述。

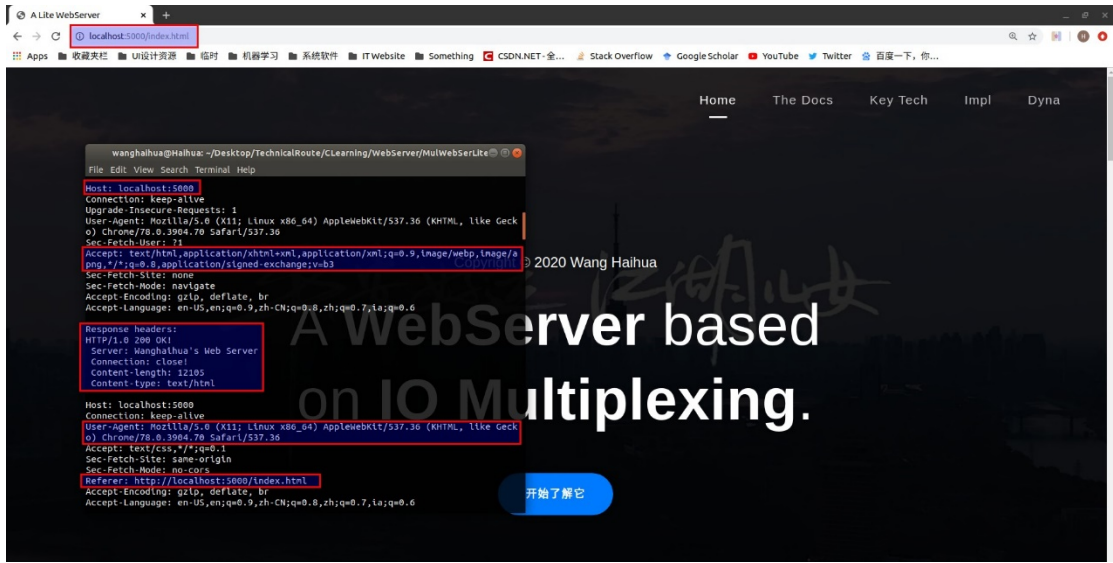


图 4.3 静态内容服务之 HTML 文件

图 4.4 所展示的是 Web 服务器提供静态内容服务时提供 PDF 文件的测试结果。如图中所示这是在 index 页面的 The Docs 子页面，在这个子页面中包含“论文文档”和“关键源码”两个部分，分别用于介绍 Web 服务器涉及的关键技术和 Web 服务器实现的关键源码，为了更加详细介绍这些内容，这两个部分都可以点击“Learn More”来超链接到对应的 PDF 介绍文档。如图中所示，点击“Learn More”后浏览器将向 Web 服务器请求对应的 PDF 文件并在新的标签页中展示，如图中右侧新标签页的 URL 是“localhost:5000/docs.pdf”。



图 4.4 静态内容服务之 PDF 文件

图 4.5 所展示的是 Web 服务器提供静态内容服务时提供图像和纯文本内容的测试结果。如图中所示这是在 index 页面的 Key Tech 子页面，在这个子页面中包含 Web 服务器开发过程中涉及的六个关键技术点，分别以一个原理图和一段描述文本组成。在前面的页面中虽然已经涉及了图像和文本的访问结果，但是在这个部分有六组内容呈现更加突出这部分这种类型静态资源的请求访问测试结果。



图 4.5 静态内容服务之图像与文本

图 4.6 所展示的是 Web 服务器提供静态内容服务时提供 MPEG 格式视频内容的测试结果。如图中所示这是在 index 页面的 Impl 子页面，在这个子页面中主要包括一个视频播放器和关于 Web 服务器功能测试介绍的一段文本内容。Web 服务器的 src 目录下存放的是一个三分三十五秒的 MPEG 格式视频文件，在浏览器浏览到 Impl 并点击开始播放视频后，Web 服务器便开始根据 HTTP 请求从 src 目录下读取这个二进制数据并展示在浏览器上。可以看到这个页面的请求中也涉及背景图片和文本内容的请求访问。

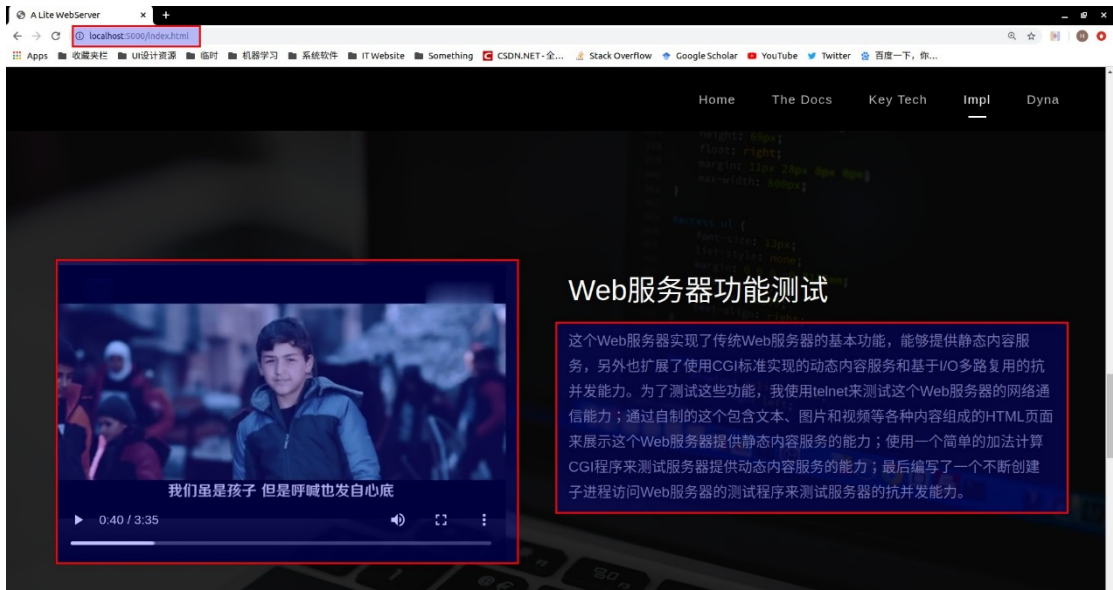


图 4.6 静态内容服务之视频文件

4.3.2 动态内容服务测试

在第三章中的第 3.3.3 节介绍过动态内容服务的实现。在 Web 服务器处理动态内容服务请求时，将客户端传来的参数通过 CGI 标准定义的 QUERY_STRING 环境变量传递给 CGI 程序，而在 CGI 程序中它不仅要完成参数的处理工作还要将执行结果作为响应主体的一部分生成 HTML 页面，并生成标识响应主体信息的响应报头发送给客户端。图 4.7 所展示的就是 Web 服务器基于一个简单的加法计算 CGI 程序提供动态内容服务的测试结果。如图中所示用户在 index 页面的 Dyna 子页面中安装操作说明在两个文本框中输入两个操作数，在用户点击“SUBMIT REQUEST”按钮之后，浏览器就将这两个操作数提交给了 Web 服务器，Web 服务器调用对应的 CGI 程序根据执行结果生成对应的 HTML 页面并返回给浏览器展示给用户。如图中左侧所示，新生成的 HTML 页面的 URL 是“localhost:5000/bin/form-adder”并且呈现了用户在 Dyna 页面中输入的 222 和 333 的计算结果为“The answer is:222 + 333 = 555”。

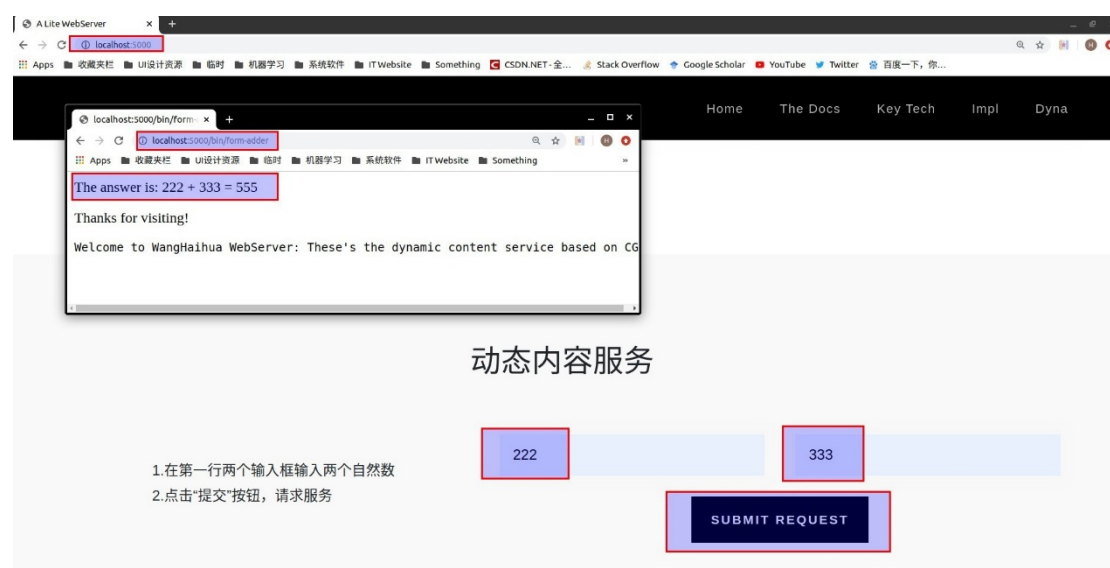


图 4.7 动态内容服务测试

4.4 抗并发能力测试与性能分析

在第三章中的第 3.4 节介绍过使用 I/O 多路复用技术实现 Web 服务器的抗并发能力。在本节中将使用 webbench 测试 Web 服务器的并发能力，使用 wrk 对 Web 服务器进行压力测试本分析其性能。Webbench 是一个轻量级的压力测试工具，它可以模拟三万左右的并发请求，主要测试 Web 服务器的每秒钟请求处理数和每秒钟数据传输量。Webbench 的基本原理

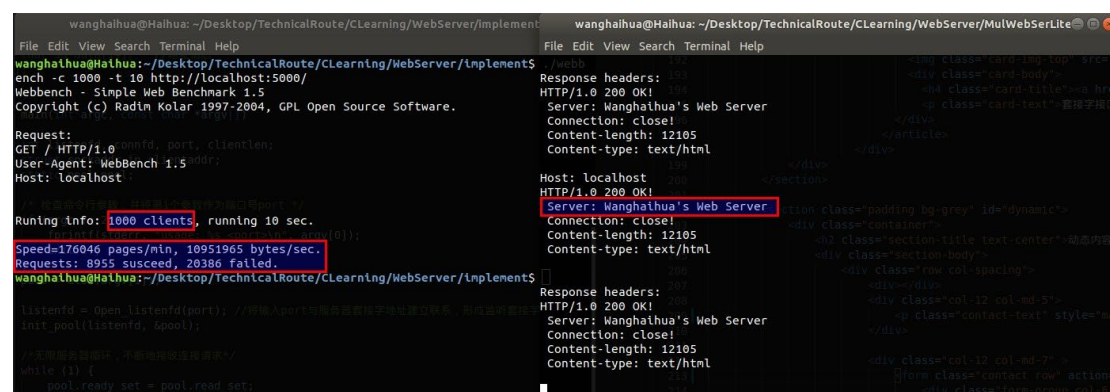


图 4.8 webbench 抗并发能力测试

是父进程调用 Fork 函数创建若干个子进程，每个子进程在测试时间内不停地向 Web 服务器发送 HTTP 请求并将请求结果传递给父进程并记录，当测试时间结束后，统计请求结果并计算出 Web 服务器的每秒钟请求处理数和每秒钟数据传输量。如图 4.8 所示，webbench 使用一千个 client 对 Web 服务器测试十秒得到的处理速度为请求处理数 176046 pages/min，每秒钟数据传输量为 10951965 bytes/sec，在测试时间内有 8955 个请求被成功处理而 20386 个请求处理失败。测试结果表明 Web 服务器具有一定的抗并发能力。

Wrk 是一个专门针对 Web 服务器的基准测试工具，目前只支持单机测试，可以利用异步的事件驱动框架，使用很少的线程压出很大的并发量，并能够测出很多关于请求延迟和请求处理数的详细信息。如图 4.9 所示，命令行“./wrk -t8 -c1000 -d10s <http://localhost:5000>”是在用 8 个线程参数 1000 个并发请求在 10 秒内测试 Web 服务器的基准数据，测试结果数据包括延迟 Latency 和每秒请求数的平均值 Avg、标准差 Stdev、最大值 Max 和正负一个标准差所占比例。

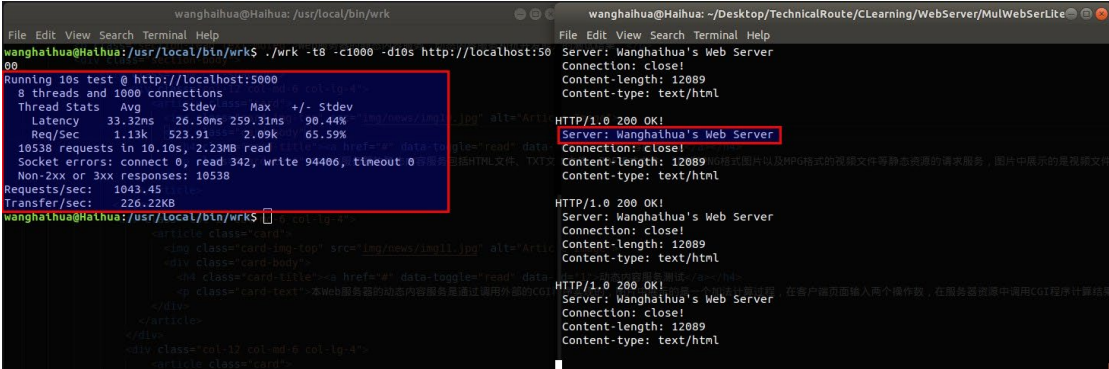


图 4.9 wrk 压力测试性能分析

图 4.9 中的测试结果数据如表 4.1 所示，延迟 Latency 的平均值在 33.32ms，每秒中请求处理数的平均值和最大值分别为 1.13k 和 2.09k，在 10 秒的测试时间内成功处理了 10538 个 HTTP 请求，共传输数据 2.23MB，每秒钟处理请求数为 1043.45，每秒钟数据传输数为 226.22KB。综上数据，可以看出作为一个简单的并发 Web 服务器具备良好的 HTTP 请求和数据传输能力。

表 4.1 压力测试结果数据

指标	平均值 Avg	标准差 Stdev	最大值 Max	+/- Stdev
延迟	33.32ms	26.50ms	259.31ms	90.44%
请求处理数	1.13k	523.91	2.09k	65.59%
请求处理速度	1043.45/sec			
数据传输速度	226.22KB/sec			

4.5 本章小结

本章对基于 I/O 多路复用的并发 Web 服务器进行了系统功能测试与性能分析。在第一节中介绍了针对 Web 服务器进行功能测试的系统环境软硬件配置和压力测试工具，也介绍了对各个功能的测试方法。在网络通信与资源操作功能测试中本文使用 telnet 命令完成测试；对于 Web 服务的测试，本文设计了一个包含动态内容服务和各类静态内容服务的页面，非常全面地测试了 Web 服务器提供基本的 Web 服务的功能；在最后本文使用 webbench 测试工具测试了 Web 服务器的抗并发能力，使用 wrk 压力测试工具更加全面的分析了 Web 服务器的性能。经过全部的测试环节，进一步验证了本文设计的 Web 服务器具有基本的 Web 服务提供能力以及良好的抗并发能力和性能。