

Web性能测试的专业工具书，
软件测试工程师的良师益友。

性能测试 诊断分析与优化

陈能技 郭柏雅 编著



测试实践丛书

性能测试 诊断分析与优化

陈能技 郭柏雅 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

内 容 简 介

性能测试是软件系统健康持续运行的前提,在软件系统上线之前,必须由性能测试工程师采用合理的测试策略,设计相应的性能测试方案,对软件系统实施性能测试、压力测试、负载测试等。性能测试往往能在软件系统上线前揭露软件系统的性能问题,如何诊断分析软件系统的性能瓶颈是软件开发团队实施性能优化的关键。

本书结合主流性能测试工具 LoadRunner,讲解性能测试过程、方法和技术;结合笔者丰富的性能诊断调优经验,讲解如何有效分析和诊断性能问题、发现性能瓶颈。

本书分为3篇,第1篇是性能测试基础篇,主要介绍性能测试的基础知识;第2篇是性能测试工具篇,主要介绍如何使用主流的性能测试工具 LoadRunner 进行性能脚本设计、性能场景设计和性能结果分析;第3篇是性能问题诊断分析篇,主要介绍如何分析、定位性能瓶颈,涵盖 Web 服务器、应用服务器、数据库、应用代码、操作系统等层面的诊断分析。

本书适合性能测试工程师、软件开发工程师、系统设计工程师阅读,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

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

性能测试诊断分析与优化 / 陈能技, 郭柏雅编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.6
(测试实践丛书)

ISBN 978-7-121-16745-4

I. ①性… II. ①陈… ②郭… III. ①性能试验—软件工具, LoadRunner IV. ①TP311.56

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 065641 号

策划编辑: 李 冰

责任编辑: 许 艳

特约编辑: 赵树刚

印 刷:

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: 787×980 1/16 印张: 23.5 字数: 489 千字

印 次: 2012 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 55.00 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

推荐序一

初识泊涯是在 2007 年，当时他出差到北京，于是不谋而合地相约见面。在后海的餐厅一起讨论软件测试、性能测试和性能调优等。离别后还相约下次见面，但谁知造物弄人，只能在网上和电话中相见了。相隔几年后，得知泊涯同学要出书了，就自告奋勇帮他写下序。

阅读泊涯这本《性能测试诊断分析与优化》时，让我想起儿时母亲给我讲过的 18 颗樱桃，18 次弯腰的故事，歌德在他的《叙事谣曲》中讲了这么一则小故事：耶稣带着门徒彼得远行，路上看到一块小小的马蹄铁，便让彼得捡起来，但彼得懒得弯腰，假装没听见。耶稣没说什么，自己捡起马蹄铁，路过城镇时到铁匠铺换了三文钱，又用这钱买了 18 颗樱桃。两人继续前行，经过的地方全是茫茫的荒野，耶稣知道彼得又渴又饿，就将藏于袖中的樱桃掉出一颗，彼得慌忙捡起来吃掉。耶稣边走边丢，彼得也就狼狈不堪地弯了 18 次腰。耶稣笑了，对彼得说：“如果当初你弯一次腰，就不会在后来没完没了地弯腰了。小事不干，将来就会在更小的事情上操劳。”

对于这个故事，不同的人从不同的方面可能有不同的感悟和理解。作为一个多年的 IT 从业者，自然而然就想起了软件的测试过程。软件测试是一项庞大而复杂的工作，小到每一个测试用例的实施，为了确保软件的质量，测试中每一个“小事”都要做好。软件测试工作琐碎、繁杂又耗时间，而性能测试领域更是需要关注每一个细微的变化，任何一个指标的分析。

作者是业内资深的性能测试人士，具备多年软件开发和软件测试工作经验。这本《性能测试诊断分析与优化》是作者与能技兄多年来的工作经验积累，在软件开发、软件测试流程、软件工程、流程制定和改进、质量保证、自动化测试等领域有深厚的造诣。作者重点聚集在实践性，从软件测试项目启动、测试计划开始，到测试用例编写，功能测试到项目上线运行中性能问题的分析及解决做了详尽的阐述。

在解决软件运行中的性能问题，本书全面阐述了性能测试中理论分析和详细的实战经验，对长期从事软件测试的技术人员具有重要的参考价值。

在软件产业飞速发展的十多年间，软件测试已经渗入到 IT 行业的各个领域，成为不可缺少的技术。越来越多的软件公司将更多的时间和精力投向了测试工作。很多公司测试人员与开发人员的比例已经由以前的 1:5 或 1:6，变为现在接近 1:1。

目前，金融、电信、游戏、电子商务及通用软件等都投入大量资金用于测试。为保证软件的质量及性能的稳定性，减少使用过程中的维护次数及费用，软件测试已成为影响软件企业生产质量的关键问题。性能测试也被提到了前所未有的高度，性能测试技术是一个综合的技能，希望本书能够为同行业者提供有益的指导。

禄泽教育总经理 赵智乾

推荐序二

受多年好友能技兄所托，要我给他的新书作推荐序，心中难免有些惊讶。既欣赏其对技术的钻研和执着精神，又佩服其毫不吝惜地将自身辛苦积累的实践经验总结出来，以书籍的形式传播这些知识。于是动容，于是欣然动笔。

技术的发展是一把双刃剑，既给人们带来了便利和好处，又给人们带来了新的问题。比如随着软件技术的快速发展，一方面使人们可以快速地开发更加复杂的应用系统，另一方面也使开发出的应用系统架构越来越复杂、规模也越来越大。随之而来的则是系统性能问题越来越多，尤其是在业务高峰时段出现的系统反应慢、响应时间过长、事务处理能力弱，甚至于系统崩溃的现象也屡有发生。从而导致所开发的应用系统由于性能问题最终被停止使用，不仅给企业自身造成了损失，还有可能造成不良的社会影响，如最近发生的铁道部网上订票网站性能问题等。因此，如何测试并准确定位和分析解决应用系统的性能问题，对企业自身和用户都有着极为重要的现实意义。

本书给出了上述问题的答案！首先讲述了性能测试基础知识和性能测试工具的使用，在此基础上再对性能问题的诊断和分析技术进行了详细阐述。本书在传递性能基础知识的同时，告诉我们如何应用工具来测试应用系统性能，诊断和定位分析应用系统的性能问题。这是本书的特色，也是本书与以往的性能测试技术类书籍的不同之处。

本书结合了作者丰富的性能测试实践经验，深入浅出地阐述了最实用的性能测试和性能诊断分析技术知识，相信这些实践经验的总结，也是很多测试人员所需要的。整本书的知识结构清晰、脉络分明、循序渐进、循循善诱，对于有志于学习和提高自身性能测试实战能力的读者而言，确为了一本不可多得的好书。

我很高兴能为这本以实践经验为基础写成的实战性非常强的作品作推荐序，预祝《性能测试诊断分析与优化》能够早日出版。也希望国内有更多的人来关注性能测试，更好地探讨、解决软件性能问题的技术和方法，共同促进我国软件质量水平的不断提高。

中国赛宝实验室软件评测中心 商用软件测试部主任 姚日煌

2012 年 4 月 23 日

前言

软件系统是企业 IT 的核心，软件系统的质量影响着企业的运转、业务的开展，除了软件系统的功能正确性外，软件系统的质量还包括性能、安全性、可靠性等。

软件性能问题遍布各种行业领域的软件系统，例如金融业务服务系统、电子商务网站、移动互联应用系统、网络游戏、嵌入式软件系统等。在竞争日趋激烈的商业环境下，为了满足用户日益增加的体验需求，软件系统的性能优化被提到了前所未有的高度，您的软件系统比竞争对手快 1 秒，您就有可能比竞争对手多赚 100 万！

软件性能优化离不开性能测试，全面的性能优化需要全过程的性能测试解决方案，包括性能需求分析、性能设计、性能系统测试、性能诊断分析与调优。

在软件生命周期的需求分析阶段，需要对软件性能的需求作出定义，并进行需求分析，尤其是软件性能需求的可测试性分析，这有利于后续开展性能架构设计和性能测试的工作。

在设计阶段，尤其是架构设计阶段，应该对软件系统的性能架构进行充分设计、原型评估，必要时在这个阶段可进行小规模的性能验证性测试，以便论证系统架构在性能上的可扩展性。

在代码设计阶段，需要按照指定的开发规范进行软件开发。为了获得最佳的性能体验，需要从每个细节入手确保软件性能，及时进行代码性能检查和评估。

系统的性能测试可分为负载测试、压力测试、耐力测试、容量测试等多种类型，不同类型的性能测试侧重点不同，需要根据软件系统特点和项目类型进行选择。

软件系统的性能瓶颈可能出现在各个环节，例如数据库、中间件应用服务器、Web 服务器、网络、代码层。性能瓶颈的定位和诊断分析需要熟悉软件系统的各个方面，通常需要多种项目成员角色配合一起完成，例如 DBA、系统管理员、网络管理员、设计人员、测试人员等。

本书结合主流的性能测试工具 LoadRunner，讲解性能测试过程、方法和技术。另外，结合笔者多年性能测试和性能优化经验，详细讲解了软件系统常见的性能瓶颈，以及如何发现、诊断分析这些性能瓶颈，从而提出性能优化方案。

本书的内容安排

本书分为 3 篇，共 10 章，从软件性能测试的基本概念讲起，再进一步介绍性能测试的基本方法和流程，然后基于 LoadRunner 介绍性能测试工具的使用方法、测试脚本的开发技巧，以及性能场景设计、性能测试结果分析，之后结合主流操作系统、Web 服务器、应用服务器和数据库，从多方面、多角度出发详细讲解性能问题的诊断分析技巧。

第 1 篇 性能测试基础篇（第 1 章和第 2 章）

讲述了性能测试的基础知识，性能测试基本流程。这两章内容是性能测试工程师必须

具备的基础知识。

第 2 篇 性能测试工具篇（第 3 章到第 5 章）

性能测试工具是性能测试工程师的基本“装备”，掌握性能测试工具的基本使用方法，才有可能顺利开展性能测试和性能监控，以及后续的性能分析诊断、性能优化工作。LoadRunner 作为业界主流的性能测试工具，是性能测试工程师必备的“利器”。第 3 章到第 5 章的内容涵盖 LoadRunner 性能测试工具的使用、脚本开发、场景设计与运行、测试结果分析等内容。

第 3 篇 性能问题诊断分析篇（第 6 章到第 10 章）

性能瓶颈可能出现在软件系统的各个方面，第 6 章到第 10 章的内容分别从 Web 服务器、应用服务器、数据库服务器、应用程序代码、操作系统等层面进行性能问题的分析诊断。让性能测试工程师可以借助笔者总结的丰富经验，应用于实际性能测试项目的性能问题诊断分析优化。

本书由浅入深，由理论到实践，尤其适合初级读者逐步学习和完善自己的性能测试方面的知识结构，加上 LoadRunner 性能测试工具的应用技巧和性能瓶颈的分析诊断技巧，是性能测试团队和性能测试工程师的案头指南和最佳实践指导。

本书特色

本书在讲解性能测试过程、性能测试工具 LoadRunner 的使用，以及性能问题诊断分析的过程中，通过详细的例子进行分析，让读者可以通过例子理解，并且可以自己进行尝试，非常适合独立学习和研究性能测试技术、性能优化技巧的初级测试工程师参考使用。

本书以循序渐进的方式讲解了性能测试的基本知识，结合 LoadRunner 的使用，深入讲解性能测试脚本的开发，在讲解性能诊断分析技术时，涉及目前流行的 Web 服务器、应用服务器、数据库服务器等方面的内容，例如 Apache、Tomcat、WebLogic、Oracle、Linux 等。

在讲解性能诊断分析技术时，首先分析系统组件的架构原理，再介绍性能监控的方法，最后引出性能问题出现的原因和诊断分析的技巧，以及调优的方法。

适合阅读本书的读者

本书面向使用 LoadRunner 等性能测试工具进行性能测试的测试工程师、QA，以及希望了解性能测试的测试员，希望掌握性能诊断分析技术的软件工程师。

编 者

2012 年 4 月

性能测试诊断分析与优化

第1篇 性能测试基础篇

第1章 性能测试基础	2
1.1 性能测试的重要意义	2
1.1.1 功能测试和性能测试	3
1.1.2 项目组不同角色眼中的软件性能	3
1.1.3 1秒的性能对于顾客的意义	4
1.2 软件性能的生命周期	4
1.2.1 需求阶段的性能分析	4
1.2.2 设计开发阶段的性能分析与验证	5
1.2.3 系统测试阶段的性能验证与优化	6
1.3 软件性能认知	7
1.3.1 什么是软件性能	7
1.3.2 影响软件性能的因素	8
1.3.3 软件性能测试目标	9
1.3.4 性能测试术语	10
1.3.5 网络协议	12
1.3.6 HTTP 协议	13
1.3.7 协议分析工具	16
1.3.8 性能测试工程师的素质要求	20
1.4 性能测试框架	22
1.4.1 性能测试工具原理	22
1.4.2 Controller 的简单设计	23

目 录

CONTENTS

性能测试诊断分析与优化

1.4.3 Agent 的简单设计	25
1.4.4 虚拟用户的产生	29
第 2 章 性能测试流程	31
2.1 性能需求调研	32
2.1.1 性能测试需求分析	33
2.1.2 性能需求清晰吗	34
2.1.3 “不成文的”性能需求定义	34
2.1.4 业务模型调研	35
2.1.5 业务数据分析方法	36
2.1.6 业务数据分析工具的使用	37
2.1.7 性能指标调研	40
2.2 性能测试策划阶段	41
2.2.1 性能测试方案	44
2.2.2 性能测试计划	45
2.2.3 性能测试工具选型	46
2.2.4 性能测试策略	46
2.2.5 测试辅助诊断分析工具	48
2.3 性能测试环境搭建	52
2.3.1 ASP/ASP.NET 性能测试环境搭建	53
2.3.2 LAMP 性能测试环境搭建	55
2.3.3 J2EE 性能测试环境搭建	59
2.4 性能测试执行过程与性能报告	61
2.4.1 性能测试执行过程	61

性能测试诊断分析与优化

2.4.2 性能测试报告	62
--------------------	----

第 2 篇 性能测试工具篇

第 3 章 LoadRunner 脚本开发	66
3.1 LoadRunner 工具简介	66
3.1.1 LoadRunner 综述	66
3.1.2 LoadRunner 安装	67
3.1.3 LoadRunner 的安装部署常见问题	70
3.1.4 LoadRunner 组件	71
3.1.5 LoadRunner 支持的协议	72
3.1.6 LoadRunner 支持的脚本语言	73
3.1.7 LoadRunner 的基本使用步骤	74
3.2 LoadRunner 脚本设计基础——C 语言	77
3.2.1 C 语言简介	77
3.2.2 C 语言的特点	78
3.2.3 学习 C 语言	80
3.3 LoadRunner 脚本开发与维护	81
3.3.1 使用 VUGen 录制脚本	81
3.3.2 录制 IE 浏览器常见问题的解决方法	84
3.3.3 如何选择协议	85
3.3.4 LoadRunner 脚本调试技巧	87
3.3.5 事务定义和划分	90

目 录

CONTENTS

性能测试诊断分析与优化

3.3.6 检查点的使用	92
3.3.7 关联取值.....	94
3.3.8 关联的应用例子	97
3.3.9 参数化使用	98
3.3.10 参数化数据的准备	101
3.3.11 关于参数化数据连接数据库的看法	106
3.3.12 思考时间	107
3.3.13 LoadRunner 思考时间与事务响应时间	108
3.3.14 HTML-based 与 URL-based 录制方式的区别	108
3.3.15 脚本结构设计	113
3.4 虚拟用户协议脚本设计与常用函数使用	116
3.4.1 LoadRunner 字符串操作函数	116
3.4.2 自定义字符串函数	119
3.4.3 目录、文件操作函数	122
3.4.4 编写自定义格式的 HTTP 请求	126
3.4.5 调用 DLL.....	127
3.4.6 事务相关函数	128
第 4 章 LoadRunner 场景设计与运行	132
4.1 场景分析与计划	132
4.1.1 分析被测试系统的组成	132
4.1.2 描述系统配置	133
4.1.3 分析用户使用模式	133
4.1.4 分析任务的分布情况	134

性能测试诊断分析与优化

4.1.5 测试类型与测试场景	134
4.1.6 选择度量响应时间的范围	134
4.1.7 定义用户活动	136
4.1.8 选择测试环境	136
4.2 Controller 的使用	137
4.2.1 手工场景设计	137
4.2.2 场景调度设计	140
4.2.3 压力负载机自动均衡	142
4.2.4 使用 IP 欺骗	142
4.2.5 面向目标的场景设计	145
4.2.6 服务水平协议 (SLA)	148
4.2.7 集合点的使用	150
4.2.8 Controller 中运行界面 Stopped 和 Passed 的区别 ..	152
4.2.9 场景运行错误分析：120 秒超时问题的 定位分析	153
第 5 章 LoadRunner 测试结果分析	154
5.1 LoadRunner 测试数据分析	154
5.1.1 虚拟用户图	155
5.1.2 事务图	157
5.1.3 Web 资源图	158
5.2 Analysis 测试结果分析	160
5.2.1 90% 响应时间	160
5.2.2 页面细分图	162

目 录

CONTENTS

性能测试诊断分析与优化

5.2.3 使用 Analysis 生成测试报告	164
--------------------------------	-----

第 3 篇 性能问题诊断分析篇

第 6 章 Web 服务性能问题诊断分析	166
----------------------------	-----

6.1 Web 服务器架构与 Apache.....	166
6.2 Apache 性能监控	167
6.3 Apache 性能计数器	170
6.4 Apache 日志监控	170
6.5 MPM 对 Apache 性能的影响.....	171
6.6 调整 MaxClients.....	172
6.7 调整 MaxSpareServers	174
6.8 KeepAlive 的配置	175
6.9 mod_cache 的应用	176
6.10 卸载未使用的 Apache 模块	178

第 7 章 应用服务性能问题诊断分析	179
--------------------------	-----

7.1 应用服务器架构分析	179
7.2 Tomcat 性能监控分析	180
7.2.1 Tomcat 性能监控方法	181
7.2.2 Tomcat 与 JVM 优化	195
7.2.3 Tomcat 与内存泄漏	196
7.2.4 maxThreads: 连接线程数监控与调整.....	196

性能测试诊断分析与优化

7.2.5	connectionTimeout: 连接超时的设置	198
7.2.6	acceptCount: 最大排队数的设置	199
7.2.7	Tomcat Native library (APR) 的配置	200
7.2.8	Connector: 连接器的配置	202
7.3	WebLogic 中间件性能监控分析	203
7.3.1	Session 监控	204
7.3.2	WebLogic 的 Session 持久化	207
7.3.3	WebLogic 线程数的监控	208
7.3.4	JDBC 连接数监控与调优	210
7.3.5	JDBC 连接池泄漏问题检测	215
7.3.6	WebLogic 的 JVM 监控分析	218
7.4	WebSphere 中间件性能监控分析	222
7.4.1	WebSphere 性能监控方法	223
7.4.2	WebSphere 的 Session 监控与分析	226
7.4.3	WebSphere 线程数的监控与分析	227
7.4.4	WebSphere 的 JDBC 连接数监控	228
7.4.5	WebSphere 的 JVM 监控分析	231
第 8 章	数据库服务性能问题诊断分析	234
8.1	Oracle 性能监控方法	234
8.1.1	在 LoadRunner 中配置监控 Oracle	235
8.1.2	使用 SiteScope 监控 Oracle	239
8.1.3	使用 Oracle 企业管理器查看数据库性能	240
8.1.4	使用 SpotLight 监控数据库性能	241

目 录

CONTENTS

性能测试诊断分析与优化

8.2 Oracle 性能分析与诊断	247
8.2.1 排序对 Oracle 性能的影响	247
8.2.2 Buffer Cache Hit Ratio 诊断	248
8.2.3 优化 Oracle 软解析率	249
8.2.4 诊断 Oracle 的 CPU 使用率	253
8.2.5 跟踪诊断和优化 SQL 语句	254
8.2.6 Oracle 索引问题诊断与优化	257
 第 9 章 应用代码性能诊断分析	261
9.1 内存泄漏诊断分析	261
9.1.1 代码书写问题导致内存泄漏	261
9.1.2 堆栈内存泄漏检测	263
9.1.3 Java 代码内存泄漏检测	265
9.1.4 使用 JProfile 跟踪内存泄漏	273
9.2 JVM 内存泄漏诊断分析	280
9.2.1 JVM 原理与监控	281
9.2.2 JVM 启动参数介绍	283
9.2.3 JVM 性能瓶颈诊断分析	285
9.2.4 JVM 内存泄漏实例一: PermGen 溢出	285
9.2.5 JVM 内存泄漏实例二: Heap 溢出	286
9.2.6 JVM 内存泄漏实例三: 垃圾回收时 promotion failed	286
9.3 Servlet 常见性能问题分析与优化	289
9.3.1 Servlet 中利用 init()方法进行高速缓存	290

性能测试诊断分析与优化

9.3.2 Servlet 压缩输出	293
9.4 JSP 常见性能问题分析与优化	295
9.4.1 选择正确的页面包含机制	296
9.4.2 屏蔽 Page Session	296
9.4.3 正确地确定 JavaBean 的生命周期	299
9.4.4 控制 Session 的时间	300
9.5 p6spy 监控和跟踪 SQL 语句	301
9.6 Log4j 性能诊断与优化	306
9.7 代码效率性能测试与优化	311
第 10 章 操作系统性能问题诊断分析	318
10.1 Windows 性能监控	318
10.1.1 LoadRunner 监控远程机器 Windows 资源	319
10.1.2 Windows 资源监控计数器	320
10.2 Linux/UNIX 性能监控	322
10.2.1 LoadRunner 结合 rstatd 监控	323
10.2.2 Glance 监控命令在 HP UX 上的使用	325
10.3 开源系统监控工具的使用	330
10.3.1 Nmon	330
10.3.2 Cacti	332
10.4 内存使用监控及性能诊断分析	335
10.4.1 使用 free 监控 Linux 内存	335
10.4.2 使用 vmstat 监控 Linux 虚拟内存	338
10.5 CPU 使用监控及性能诊断分析	339

目 录

CONTENTS

性能测试诊断分析与优化

10.5.1 使用 top 监控 CPU.....	339
10.5.2 Load averages 监控分析	342
10.5.3 使用 vmstat 监控 CPU	342
10.6 I/O 使用监控及瓶颈分析	343
10.6.1 使用 collectl 监控 I/O	344
10.6.2 使用 iotop 监控 I/O	345
10.6.3 Linux 下的 I/O 瓶颈诊断分析	346
10.7 网络监控及瓶颈分析	348
10.7.1 使用 netstat 监控网络	349
10.7.2 使用 iptraf 监控网络	350
10.7.3 Windows 网络性能分析	352
10.7.4 Linux 网络性能分析	354
附录 参考书目和资源	357