

LARGE SITE
SERVER CAPACITY PLANNING

大型网站 服务器容量规划

郑钢 贺亚涛 尤胜涛

著



+ 用数学回归分析方法来做服务器容量规划，
让读者掌握容量规划的量化方法
+ 模型的选择是容量规划的关键，
本书用典型实例演示了具体的规划过程

+ 为使读者具备构建出更加复杂模型的能力，
还介绍了容量监控的技术及实现方法，
如整机 CPU、进程 CPU、进程 IO 等，
以解决服务器容量规划的实际问题



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

LARGE SITE
SERVER CAPACITY PLANNING

大型网站 服务器容量规划

郑钢 贺亚涛 尤胜涛

著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

大型网站服务器容量规划 / 郑钢, 贺亚涛, 尤胜涛
著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2016.8
ISBN 978-7-115-42525-6

I. ①大… II. ①郑… ②贺… ③尤… III. ①网络服
务器—容量—规划 IV. ①TP368.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第123639号

内 容 提 要

本书讲解了用数学回归分析方法来做服务器容量规划的思路, 让读者掌握服务器容量规划的量化方法; 模型的选择是服务器容量规划的关键, 不同的程序有不同的模型。本书使用 nginx+PHP+MySQL 为实例演示了具体的规划过程, 以便达到触类旁通的作用, 使读者具备构建复杂模型的能力, 以解决服务器容量规划的实际问题。本书还介绍了服务器容量一般监控的技术及实现方法, 如整机 CPU、进程 CPU、进程 IO 等。学习完相关章节后, 读者也可以编写监控程序了。

本书适合互联网行业运维工程师、测试工程师、技术经理、项目经理、产品经理, 以及致力于从全局把握运维和优化网站的所有互联网从业人员。

-
- ◆ 著 郑 钢 贺亚涛 尤胜涛
责任编辑 张 涛
责任印制 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 12.5
字数: 236 千字 2016 年 8 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2016 年 8 月河北第 1 次印刷

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

推荐序（一）

你很幸运能拿到这本书，更重要的是，你的公司老板也会很幸运。郑钢在这本书里深入而系统地分享了构建大型网站服务器容量规划技术的方方面面。从方法到思路，从需求分析到系统设计，涉及诸多算法原理和实现细节。通俗的语言，流畅的叙述，将枯燥复杂的技术原理娓娓道来。

我曾经在工作中和许多运维人员有过技术上的交流，在讨论到服务器容量规划的问题时，大家都会提到灾备冗余，需要根据流量负载，并发峰值综合考虑，然而当进一步探讨到服务器容量规划不凭经验估计，通过公式来计算量化时，就语焉不详，难以深入下去了。凭经验，不依靠监控系统及科学算法，无法给出准确的量化数据，这无疑会限制公司在大型并发网站下的运维能力。

这本书将为你提供运维高性能网站的服务器容量规划的完整解决方案。郑钢有着在百度运维大规模服务器集群的实际工作经验，他精通运维系统的技术和架构。当知道他花时间著作一本网站服务器容量规划的书时，我不禁为许多运维人员感到高兴。据我所知第一次有像本书这样全面详细地阐述服务器容量规划。尤其是有关系统和核心模块的细节披露，都是来源于实际运维中总结出来的经验，没有这样的经历，你甚至很难想象系统会是啥样的结构。

不要犹豫了。当你拿起这本书，按照书中所分享的技术方案去实践时，你会发现，规划服务器容量就这么简单。我相信，越来越多的网站运维需要用到这方面的技术，掌握它并加以实践，你和你所服务的公司会获益良多。

联想/大数据平台技术总监 杨汇成

推荐序（二）

服务器容量规划对于互联网企业控制成本具有重大意义。本书从理论和实践上对此做了详细的阐述，指导运维人员不再单纯“凭经验+逐步尝试”来判断是否需要扩容，可以通过用回归分析等建立数学模型的方式，更加科学地量化服务器容量并制定解决方案。本书提出的方法具有普适性，对服务器容量规划以外的其他业务、其他方向也具有很好地启发作用和借鉴价值。

奇虎 360/政企云事业部经理 冯顾

服务器容量规划对于一个大型互联网公司来说是一项不可或缺的研究课题。一个合格的运维架构师必须对这些了如指掌，本书是较为难得的参考工具书之一

美丽说/运维架构师，前百度核心运维工程师 陆景玉

《大型网站服务器容量规划》是一本学习如何计算、如何预算业务服务所需服务器容量的科学性方法的指南，本书讲解了从科学理论到实践的整个过程，非常符合精细化运维的发展方向，是一本很好的书籍。

美丽说/高级系统工程师 要凯

容量规化是保障服务可用性的前提，它是任何 IT 企业都可能会面临的难题。本书通过对实际生产环境的解析来阐述容量规化的重要性，是一本理论结合实际的非常好的教科书之一，书的内容通俗易懂，让读者读起来容易，理解并应用起来也更容易。

百度/高级运维工程师 朱玉杰

有幸与郑钢共事一年有余，蒙郑钢悉心指点，于精神、技术、生活、健康等诸方面均有受益。今闻其又一新作问世，第一时间拜读后，收益良多。随着电商与互联网金融如雨后春笋般迅速发展，以及容器技术的不断普及，对线上资源的评估和利用已经成为

一个比较核心的技术，这个技术一直困扰着我，阅读本书后，我在这本书里找到了答案。不得不说，郑钢的书是一如既往地令人期待，特此推荐，谨望诸君阅读后皆有收获。

美图/底层工程师 徐阳

从上大学的时候认识郑钢到现在已经7年多了，每次和他聊天都受益匪浅，被钢哥对技术追求的工匠精神所折服，作为郑钢的朋友和忠实读者，真挚地向大家推荐这本书，因为你只需要一个月的时间认真研读，就可以学到郑钢几年的研究成果，真是物有所值。

金山云/高级技术经理 成志龙

我们经常说，“人无远虑，必有近忧”，服务器容量规划讲的就是“远虑”。作为运维人员，我们如何充分利用服务器的每一份资源来满足业务需求，如何在满足业务需求的前提下，更好地控制我们的成本，凸显服务器的价值，是尤为重要的。《大型网站服务器容量规划》这本书以深入浅出的讲解方式，让我们很容易理解其中的奥秘，通过阅读本书人人都可成为容量管理的高手。

Mobvista/运维总监 黄梦溪

服务器容量评估规划，是一个高级的运维管理课题，能够做好这个课题的运维团队和公司并不多。和郑刚在百度一别之后，有幸加入了滴滴打车，目前在一家潜力股的医疗大数据公司就职，希望和所有在创业公司拼搏的伙伴一起，从郑刚的书里学习服务器容量规划的技术，弥补缺漏的知识。

医渡云/运维负责人 孙楠松

前 言

当今社会已经进入信息时代，人们足不出户，从网络上就可以获取自己需要的信息。为了满足正常的业务需求，任何一个网站都要有硬件支持，无论日访问量是一个百万级的中型网站还是上亿级的大型网站。为了正常响应用户请求，都必须提前做好业务容量。互联网的快速发展使得网站的流量无法预估，因此，网站的运维人员必须随时监控流量，随时扩容以应对大流量带来的压力。目前业内容量规划的方法有以下几种。

一种方法是凭经验。根据以往的运维经验和目前系统的监控信息来判断是否需要扩容。这种方法明显的缺点是不可靠，即使是操作人员自己也会觉得没把握，一旦失误，造成的损失比较大。

另一种方法就是投入更多的硬件支持。足够冗余的硬件可以大幅度地提升服务的稳定性，但硬件的成本是很高的，不能通过无止境地硬件采购来保证服务质量。

以上的“凭经验”和“大量硬件投入”的方法暴露了这样一个问题：业内需要一套科学地容量规划策略，需要找到服务器容量量化的方法。为解决这个问题，本书给出了一种能够将服务器容量“量化”的方式。

将服务器容量“量化”的核心技术是资源监控与回归分析，因此，本书提出的容量管理系统是计算机资源监控系统与统计学的应用结合，将监控信息制作成样本数据、对其建模，找出访问量与资源消耗的公式是本书的中心思想。与一般的服务器容量监控系统不同，为了使样本数据精确匹配，在本书实现的监控系统中，有关访问量的监控信息必须和 CPU 的采样时间及采样周期吻合。

互联网公司是用计算机来支撑业务的，业务必然会消耗计算机中的资源，这些资源包括 CPU、内存、存储、网卡等。不同业务主要消耗的资源是不同的，存储型业务，如百度网盘，其主要业务就是存储用户的文件，计算机资源的度量就是存储空间；对于计算型业务，如游戏行业，其主要业务就是游戏引擎的计算，主要用 CPU 支撑；对于流量型业务，如优酷，它的主要业务就是通过网卡传输视频文件，主要就是消耗网卡及网络带宽。所以，可以用计算机的物理资源来衡量业务量。而无论哪种业务，都少不了 CPU

的消耗，因此，本书采用 CPU 利用率作为一般业务的度量，这对于其他方面的容量管理具有抛砖引玉的作用。

掌握了容量管理技术后，运维人员便能够掌握系统还可以再承载多少流量的压力、对于新增加了的流量需要添加多少台服务器、冗余机房是否可以承载全部流量、为节省公司资源应当下架多少台服务器，以及待上线的项目是否会给线上服务带来压力等，过去凭经验完成的工作将变得可“量化”，这样会使运维工作更加透明和科学。

最后，感谢我的家人对我的支持和理解，感谢我的女友王小兔（我对女友的爱称）对我的照顾，在今后的日子里我会更加努力来回报你对我的关心。

本书读者答疑 QQ 群为 117613587，本书编辑联系邮箱为 zhangtao@ptpress.com.cn。

目 录

第 1 章 容量概述	1
1.1 容量规划背景	1
1.2 容量研究的意义	2
1.3 容量研究的目标	2
第 2 章 容量规划简介	4
2.1 什么是容量	4
2.2 服务器容量规划的源由	5
2.3 容量规划的对象	6
2.4 容量管理的目标与收益	8
第 3 章 容量规划的常用方法	11
3.1 通过监控规划容量	11
3.2 通过压力测试规划容量	13
3.3 其他容量规划方法	14
3.4 通过回归方程规划容量	15
第 4 章 回归分析简介	19
4.1 为什么称为“回归”	19
4.2 回归方程的多样性	20
4.3 回归分析的基本步骤	22
4.4 回归分析常见的形式	26
4.5 相关关系	27

4.6	用 Excel 绘制散点图和回归分析	30
4.7	相关系数的计算	41
4.8	一元线性回归	43
4.9	模型的选择	47
4.10	普通最小二乘估计原理与估计量	50
4.11	回归模型拟合效果的度量	53
4.12	多元线性回归分析	55
4.13	非线性方程	57
第 5 章	容量规划的思路	62
5.1	用回归分析实现容量规划	62
5.2	建模公式介绍	68
5.3	获取样本	72
5.3.1	CPU 利用率的估算单位	73
5.3.2	样本采样的周期粒度	75
5.3.3	样本的生成	77
第 6 章	获取 CPU 利用率	79
6.1	时间片与 CPU 亲和力介绍	79
6.2	什么是 CPU 利用率	82
6.3	获取 CPU 利用率的方法	85
6.4	计算整机 CPU 利用率	90
6.5	计算进程的 CPU 利用率	96
6.6	IO 速率、内存使用量和文件描述符、线程数的监控	101
第 7 章	容量规划的需求分析	107
7.1	容量规划业务需求分析	107
7.1.1	容量规划业务需求概况	107
7.1.2	容量规划业务需求背景	108

7.1.3	关键问题的提出	109
7.2	容量规划功能需求分析	111
7.2.1	数据采集	111
7.2.2	数据存储	112
7.2.3	样本合成	113
7.2.4	样本数据清洗	113
7.2.5	模型建立	115
7.2.6	机器关系获取	116
7.2.7	预估后端流量	117
7.2.8	预估分析	118
7.3	系统的估算流程	119
7.4	本章小结	121
第 8 章	容量管理系统设计	122
8.1	容量管理系统总体结构设计	122
8.2	容量概念约定及计算方法的设计	123
8.2.1	容量概念约定	123
8.2.2	容量等级划分	124
8.2.3	容量利用率计算方法	125
8.3	数据显示层的设计	126
8.4	业务逻辑层的设计	130
8.5	数据存储层的设计	133
8.5.1	数据采集项	133
8.5.2	数据项采集格式	134
8.5.3	样本格式	135
8.5.4	数据库设计	135
8.6	CPU 监控模块的设计	136
8.7	访问量采集模块的设计	138
8.8	样本合成及数据清洗模块设计	138

8.9	模型公式模块设计	140
8.10	本章小结	141
第 9 章	核心模块的实现	143
9.1	CPU 监控模块的实现	144
9.2	访问量统计模块的实现	156
9.3	样本处理模块的实现	161
9.4	建模的实现	167
第 10 章	容量规划系统的验证	174
10.1	容量规划公式的验证	174
10.1.1	对单一模块公式的验证	174
10.1.2	模型自身的对比	175
10.2	当前容量验证	176
10.3	容量预估的验证	178
10.4	集群优化验证	181
10.5	本章小结	184
第 11 章	结论及展望	185
11.1	容量管理系统的总结	185
11.2	容量管理系统展望	186

第 1 章 容量概述

1.1 容量规划背景

如今人们已经习惯从互联网上获取信息，因此，几乎任何一家公司都要有自己的网站。引入了一个新的事物后，必然会随之带来新的问题。网站是放在服务器上的，一般来说网站的访问量越大，服务器的压力就越大。为保证网站的正常运营，网站的运维人员有必要了解当前系统是否工作正常、系统的处理能力是否接近极限，以及需要新增多少台服务器来承载新增的压力。作为一名合格的运维工程师，对于以上这些必须要做到心中有数。

一般的公司在网站扩容方面都是采用“凭经验+逐步尝试”的方法，这样通过逐渐逼近的方式得到系统的极限承载量。再专业一点的公司，会让运维人员搭建一套线下的测试环境，测试人员先在线下对各种关键 URL 做测试，通过分析测试报告找到系统的极限值。这种方法只能得出个大概值，因为真实的压力取决于用户的行为和当时的代码运行情况。

第三种方法是在线切换流量，也就是将一部分流量导入到某些服务器上，观察日志，直到出现报错为止，然后再将流量切回到其他机器结点上，这种方法能够得到最真实的系统压力，但毕竟牺牲了部分用户体验。

以上 3 种方法的共性都是单次有效，下次换了新的代码环境还要重新手工测试。除了以上的方法外，还可以利用一些系统命令做监控，每天做出容量报表，通过查看报表运维人员便监控到系统的实时压力及实时容量，当逼近根据经验判断的压力上限时，发出报警，提醒扩容。还有的公司是利用监控系统，找到半个月内的系统最大流量作为未来短期内的流量预估，基本上也是靠经验。

上述方法都不能正确地得到系统所能正常承载的极限压力，总的来说都是依靠经验

或牺牲用户体验为代价。本章讲解的内容是将系统的极限压力量化为具体的数据，进行更为准确的容量规划。

1.2 容量研究的意义

容量管理的基本目标有两个，一是使运维人员了解系统的承载力，二是以合理的硬件成本来满足业务需求。减少成本是企业生存的刚性需求，技术人员同样有责任在技术层面上帮助公司节约成本。在软件方面，开发人员通过改进程序算法来提升系统的工作效率；在硬件方面，运维人员除了规划服务架构，还要根据业务类型定制专用的服务器，有针对性地提升系统性能。无论在硬件还是软件方面，都是在原有服务的规模下通过提升性能来减少硬件成本。除了以上两个方面，还可以通过硬件容量规划的方式进行最直接的成本控制，容量管理一方面是节约硬件成本，另一方面节约了人力成本。

为方便陈述，我们这里所说的容量管理是指服务器容量管理。容量管理主要用于评估各集群模块在当前及未来流量下的利用率，让系统容量“可见”。

模块的性能表现和实际运行的指令息息相关，并不是一次测试便能适用所有类型的代码环境，因此，当有新项目上线或在原有基础上扩容时，较安全的做法是，需要重新评估机器性能用以考量服务的稳定性。容量管理可以量化服务的稳定性，测试人员可以专注于业务本身的测试工作，无须再做稳定性测试。

技术人员还要负责硬件成本预算的工作，在提交预算时要反复权衡服务成本与稳定性。对于预算中的刚性需求，技术人员必须提供充分的理由予以支持，需要一套有效的数据作为预算的依据。有了容量管理系统，任何时候都可以用数据说话，系统需要多少台机器不是技术人员决定的，而是由业务流量决定，这样就为技术人员分担了预算压力，使他们能够更加专心地投入工作。

1.3 容量研究的目标

目标是实现单入口流量预估，具体包括以下内容。

(1) 判断现有系统规模还可以再承载多少流量。

大家应该有这样的经验，一到假期，大家花费在网络上的时间会很多，也许会发现网站的响应有可能会变慢。对于网站来说，假期的流量比一般时候的流量要大，因此，在节假日的流量会有所上涨。我们可以估计出新的流量来判断现有的系统是否可承受。

(2) 对于新增的流量，采购设备时给予指导，花最少的钱办同样的事。

公司一般会在每个季度做一次预算，因此，要提供一套理论公式支持部门的预算申请。对于运维部门来说，就要用数据来说话了，提供容量公式是最好的证明。

(3) 流量切换时可以量化。

为了保证服务稳定，通常会提供双机热备，有时保险起见，会提供多余的一套设备。或者为了提速，提供的服务会划分为多个冗余系统，当某个机房的服务出现问题时，为保证正常服务，需要将流量切换到另一个机房。切换多少流量过去呢？这时候容量系统就派上用场了，为了不至于“压垮”另一个机房的系统，需要事先知道另一个机房的系统容量还有多少空余。

(4) 优化服务规模。

产品服务中的机器数未必是最优的，容量管理可以根据访问量和指定的容量利用率，自动计算出需要的机器规模。

以上几点是容量规划要实现的目标，后面将逐步介绍。

第 2 章 容量规划简介

2.1 什么是容量

容量意指容量规划，从经济学到工程领域都有其应用，容量规划听起来是个高大上的概念，本质来说，其实就是资源利用率的管理，一个较典型的例子就是容器，例如我们是用水杯来接水喝，水杯总是有一个最大容量，我们所接的水肯定都在杯子容量之内，超过这个容量水就会溢出，这个道理还是很易懂的。其实在接水这个动作发出之前，我们通过观察就已经知道了杯子的最大容量是多少，所接的水必然会控制在杯子容量之内，如果一个杯子容量不够，口渴的同学可能会选择更大的杯子或者同时用两个杯子。因为这是潜意识里的行为，尽管你可能没有注意到，其实这就是在做容量规划。说到这我猜你也看出来了，容量规划的前提是，只有在事先知道系统可承载的最大压力的情况下才能做好流量控制和容器分配。杯子的容量是很直观的，我们在接水之初已经掌握了其容量大小，因此，可以方便地控制接水的流量和速度，然而很多抽象的容器其容量并不直观，因此，容量规划就是针对不容易测量容量的容器，通过一系列方法找到其最大容量，在此基础之上再做更细粒度的规划管理。

容量是指一个系统可处理容纳的最大能力，这个能力可以简单理解为访问量，即流量。如某个网站正常情况下可承载的流量是 8000 万 PV，超过了这个流量，用户请求的处理将受到影响，如响应变慢，或者干脆返回空白页。因此，8000 万 PV 的访问量便是这个网站的容量。可见，网站的容量规划极其重要，如果因为容量不足而影响网站业务的话，对于互联网公司来说，给公司带来的损失很可能是很惨重的。对于一个公司来说，服务运维是保证业务稳定的核心，规划好服务的容量是保证业务稳定的前提。

容量规划和性能优化是两个经常被混淆的概念，它们相互影响，但却是有着不同的目标。性能优化是最大限度地提升系统的性能，比如对内核参数、模块参数的调优，不过调优提升的性能有限，在起初调优的作用是非常明显的，到后来基本上就到了极限，已无潜力可挖。而容量规划是想找出相应服务质量对应的硬件规模，与硬件是否调优关系不大，因为在调优前后，这两种状态下相应的容量也是不同的。比如在调优之前，系统可承载的最大流量相对较小，调优之后，系统可承载的最大流量就增多了，不过这对容量来说不重要，容量与调优并不冲突，它们是两码事。总之容量规划并不是性能优化，它们虽然相互影响，但却有着不同的目标。性能优化是最大限度地提升系统的性能，而容量规划是在成本和性能之间找到平衡点。

对真实系统压力的测量比任何经验估算都靠谱，我们应该以实际容量的观测数据来驱动未来容量的预测，而不是简单通过极限测试等方法来模拟。如果没有找到测量系统容量的方法，则不能科学地对系统进行容量规划，而只能根据业务类型、经验去猜测，这种情况则仁者见仁智者见智。

2.2 服务器容量规划的源由

为什么要做容量规划呢？当资源涉及的成本变得非常可观时，势必就需要容量规划，谁也不愿意花冤枉钱。

做运维工作的读者都应该了解 SLA (Service-Level Agreement)，即服务等级协议，这是关于网络服务供应商和客户间的一份协议，其中定义了服务类型、服务质量和客户付款等术语。可能我们不那么关注这份协议的细节，但我们最了解的是 SLA 中的“几个9”，如表 2.1 所示。

表 2.1

SLA

SLA 等级	一年内宕机时间
90%	36 天 12 小时
99%	87 天 36 小时
99.9%	8 小时 45 分钟 36 秒
99.99%	52 分钟 33 秒