

计算机 系统性能 分析实践

● 三上 肇
(日) 堀 一夫 著
吉泽康文

JISUANJI XITONG XINGNENG FENXI SHIJIAN

22

计算机系统性能分析实践

三上 徹

(日)纪 一 誠 著

吉泽康文

张爱英 译

陈耀星 校

科学技术文献出版社

1988

内 容 简 介

本书是用解析法进行计算机系统性能分析评价的入门书。深入浅出地阐述了系统性能分析的新方法，新技术。全书共分5章，内容包括：排队网模型的数学解析法；分时系统的分析法；实现多重处理的计算机系统性能分析的排队网技术；通过对虚拟联机系统的分析评价，介绍如何改善提高系统性能，并指出评价实例与结果。既有理论分析，又有实践经验总结，对于从事计算机系统性能分析工作者是一本很好的参考书。

本书适合广大从事计算机系统设计、使用、管理的科技人员及高校师生、研究生参考使用。

三上 徹 纪 一 誠 著
吉泽康文

计算机システム性能解析の実際
情报处理学会 1982

计算机系统性能分析实践

张爱英 译 陈耀星 校
科学技术文献出版社出版
轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

787×1092毫米 32开本 5.75印张 123千字

1988年4月北京第一版第一次印刷

印数：1—4150册

科技新书目：164—060

统一书号：15176·842 定价：1.55元

ISBN 7-5023-0519-X/TP·5

原 序

在计算机系统的各种技术领域，已有不少专著。而对于“系统性能分析与评价”这样一个重要领域，目前为止，著作还不是很多。但在实践上，能够实现经济上适合于目的要求的系统技术，就会收到较大的经济效益，在使用中发挥显著作用。正是这种原因，使许多技术工程师的研究开始进入了性能评价的领域。系统性能分析与评价从开创时代起，已经历20多年，在使用中曾开发了各种实用技术并积累了丰富的经验和诀窍。这对于当初被卷入这个领域的人们来说，如何以这些经验知识为基础，把有关性能分析评价方法汇集成书，供有关技术人员参考并对他们的工作助一臂之力，这将是应尽的责任和义务。这次，本书作为信息处理学会20周年纪念丛书的其中一册而出版，它与该丛书的《操作系统的性能分析》为姐妹篇，正如书名所示，其重点放在实践方面。

本书的重点在于实用，但并不是单纯的基本知识或评价实例集，当然也不仅仅是有关性能分析评价的技术体系的解说。它是根据著者长年积累的实践经验，特别是从许多失败事例中学到的诀窍，通过许多实际工作，在开发、改善了的方法和技术基础上，介绍分析评价的思想方法。在实践中，确实能发挥作用的技术，是那些通过许多实践，提炼出的能统筹兼顾的技术和方法。因此，本书没有随意去描述性能分析评价技术的体系，而是从著者们体会最深的地方也是最重

要的环节为中心，展开论述。

首先，第1章是论述性能分析、评价目的、实施方法以及使用各种技术的概要，给读者以建立整体初步印象。第2章介绍对计算机系统性能分析非常有效的解析法的排队网技术，介绍有关基本模型的建立及向计算机系统模型的扩充、网的实际计算方法。第3章指出，对于性能分析最复杂的评价对象之一的分时处理系统的评价方法与工具。第4章以虚拟联机系统为例，介绍如何通过性能分析评价，进行实际性能的改善提高。最后在第5章，对于实现批处理、联机、分时系统等多重处理的计算机系统（即，具有相当复杂的控制结构的系统）的性能分析，如何运用排队网技术，并指出了用评价系统工具QM—X评价的实例与结果。

关于本书的执笔，第1章是三上和纪先生；第2章是纪先生；第3章与第4章是吉泽先生；第5章是纪先生，三上先生对全书进行了审阅。同时在本书执笔过程中分别得到日本电气公司的守田节雄先生、日立制作所的新井利明先生以及木下俊先生的很多协助。此外，筑波大学的益田隆司先生从本书执笔起，给予了种种有益的指教，本书出版过程中又得到信息处理学会坂元真澄先生和木村保明先生的热情关照，借此出版机会，对各位先生深表谢意。

本书对于近来从事计算机系统性能分析评价的各位工程师或今后想在这个领域研究奋斗的人们，如有什么助益的话，著者将会感到万分荣幸。

1982年9月

著者

目 录

1. 性能分析的思想与方法	(1)
1.1 序.....	(1)
1.2 性能分析的思想.....	(3)
1.2.1 性能分析的目的.....	(3)
1.2.2 性能评价的系统性方法.....	(8)
1.3 性能解析技术.....	(14)
1.3.1 技术动态.....	(14)
1.3.2 系统测定技术.....	(19)
1.3.3 模拟技术.....	(25)
1.3.4 解析性评价技术.....	(30)
参考文献.....	(36)
2. 应用排队网模型的性能分析	(41)
2.1 建立模型的思想方法.....	(41)
2.2 排队网模型概要.....	(42)
2.2.1 Jackson型排队网模型.....	(42)
2.2.2 BCMP型排队网模型.....	(46)
2.3 中心服务模型.....	(52)
2.4 中心服务模型的扩充.....	(56)
2.4.1 关于推移概率矩阵的输入.....	(56)
2.4.2 多重度的概念.....	(56)
2.4.3 指定处理件数时的算法.....	(59)

2.4.4	向联机系统模型的扩充	(60)
2.5	建立多重处理系统的模型	(61)
2.6	排队网模型的计算方法	(65)
2.6.1	计算方法的特点	(67)
2.6.2	中心服务模型的计算方法	(68)
2.6.3	多重处理系统模型的褶积算法	(71)
	参考文献	(79)
3.	大规模分时系统的性能分析	(81)
3.1	大规模分时系统性能分析的背景	(81)
3.2	分时系统用户的动作及特性解析	(83)
3.2.1	信息收集方式与内容	(83)
3.2.2	分时系统运行情况的分析	(84)
3.2.3	分时系统用户输入过程分析	(89)
3.2.4	使用命令分布的分析	(93)
3.3	计算机系统的负荷解析工具	(95)
3.3.1	性能解析工具的概要	(95)
3.3.2	性能分析工具VSANLY	(97)
3.4	性能评价工具PRIME3	(103)
3.4.1	PRIME3的目的	(103)
3.4.2	建立模型方法	(104)
3.4.3	模拟法	(106)
3.4.4	PRIME3的概略功能	(109)
3.4.5	性能准则的利用	(114)
3.4.6	实测性能评价和PRIME3	(115)
3.5	性能评价和调整实例	(116)
3.5.1	增强硬件的调整	(116)

3.5.2 通过改善软件处理方式进行调整	(118)
3.6 小结	(120)
参考文献	(121)
4. 提高虚拟存储器、联机系统的性能	(124)
4.1 虚拟存储器、联机系统的出现背景	(124)
4.2 常驻部分程序	(126)
4.2.1 页面常驻方式的目的	(126)
4.2.2 部分程序常驻原理	(127)
4.2.3 常驻页面选择方式	(129)
4.2.4 常驻页面选择方式的比较与评价	(131)
4.3 部分程序常驻的适用实例	(135)
4.3.1 适用系统概要	(135)
4.3.2 适用效果与解析	(138)
4.4 重新组织程序提高性能的方式	(143)
4.4.1 重新组织程序方式的概要	(143)
4.4.2 重新组织程序方式在使用上存在的问题及其对策	(147)
4.4.3 重新组织程序方式适用例	(148)
4.5 小结	(152)
参考文献	(153)
5. 多重处理系统的性能分析	(155)
5.1 多重处理系统的特征	(155)
5.2 性能评价工具QM—X	(155)
5.2.1 特点	(155)
5.2.2 功能	(158)

5.3 多重处理系统的评价实例·····	(160)
5.3.1 系统组成与工作负荷·····	(160)
5.3.2 评价目的·····	(162)
5.3.3 评价结果·····	(165)
参考文献·····	(174)

1. 性能分析的思想与方法

1.1 序

定量地掌握计算机系统性能在系统生命周期的任何阶段都是最基本的工作，由于评价错误而造成的损失往往会比进行评价本身所花费用大几个数量级。

因此，正确分析、预测、评价系统性能的思想和方法对从事计算机系统设计和运行管理的工程技术人员来讲是应掌握的基本技术之一。

目前，即使对于中、小型计算机系统，也不只限于批处理，使用数据库的联机系统和TSS（分时处理）系统也不少。在大型计算机系统中，随着系统的大规模实现，普遍在一个系统里同时运行几个特点不同的多重处理系统。随着这种系统的高度发展，使系统性能分析、预测、评价工作也不断增加了许多复杂的因素。

在系统设计、开发和运行管理部门，由于节省经费开支和提高生产的要求，不允许花费更多的费用和工作量进行性能分析与评价，它要求系统工程师们逐年用较小的工作量进行高质量的性能评价工作。

为了能够在短期间内以小工作量进行有效的性能评价，其必备条件是要明确有关方法的基本思想，开发得心应手、功能较强的评价工具。而目前的实际情况如何呢？

根据1980年日本行政管理厅进行的调查结果，在引进计

计算机系统的用户（131个机关）中，约有90%的用户以不同形式实施了计算机系统性能评价，同时也指出存在以下一些问题。

- 评价方法和规程未实现标准化。
- 工具等不完备。尤其是关于评价（预测）的工具、方法不完备。
- 厂家未能提供完善的解释系统，期望厂家能扩充支持功能。

以上情况说明用户希望正确、迅速地进行性能评价，而现实的难处是又不能实现理想的评价工作。

本章的目的是简要介绍，用户在实际进行性能评价时的思想和方法。

1.2节介绍有关性能分析的思想方法。性能分析或性能评价的最终目的在于定量地掌握评价对象的特点，在此基础上实现最佳设计。评价对象可以是CPU，操作系统OS以及综合这些在内的计算机系统。根据评价对象的特点，评价指标和所使用的方法也不同。但其基本规程有普遍性。如图1.1所示。

首先，我们把评价对象称为系统。评价时，作为输入信息是设定表现系统方面特点的系统特性和表示加载于系统的负荷量的工作负载特性。依据输入信息，通过建立某些系统模型和使用预测方法进行必要的性能评价指标的定量预测。系统工程师根据评价结果作出必要的判断，然后修正系统，使这种评价工作反复循环进行以达到最佳化设计。

1.3节介绍有关性能分析方法。性能分析或性能评价方法，大致可以分为系统测定与性能预测两种。进而，性能预

测方法又可以分为模拟法（蒙特卡罗型）和建立系统的数学模型，再解此模型而进行预测的解析评价方法。1.3.1、

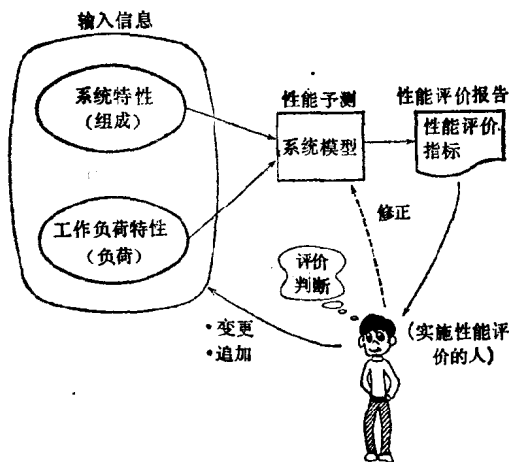


图 1.1 性能评价的周期

1.3.2与1.3.3中分别介绍测定法、模拟法和解析性评价方法。

1.2 性能分析的思想

1.2.1 性能分析的目的

简单地说性能分析或性能评价，由于对计算机系统关心的角度及目的不同，使用的评价指标和方法也不同。在某种场合，有效的思想方法、技术或工具却不能保证在其它场合同样有效。

在这方面，性能分析和性能评价目的大致分为4类，首先概括了解一下各自使用怎样的思想方法和技术，并总结一

下存在的问题。

1) 为开发、改善硬件 (尤其是CPU) 的设计而进行的性能评价。

2) 为开发、改善操作系统的设计而进行的性能评价。

3) 为规划设计、开发应用系统所进行的性能评价。

4) 为改善、增强系统的运行管理而作的性能评价。

1)、2) 两项是由提供计算机的厂家所开展的工作;

3) 常常是由用户和厂家的系统工程师们结合起来进行;

4) 则是以用户的计算机部门为中心开展的工作。

1) ~ 4) 统称为性能评价, 但对象和方法大为不同。例如, 在 1) 中可以说系统就是指CPU, 与 3) 或 4) 中作为对象的综合系统不同。同时预测、评价系统动作的方法在 1)、2) 中, 通常最有效的方法是模拟法, 而对于 3)、4) 项实施模拟法未必能说是好的方法。

下面简单地概括 1) ~ 3) 的特点。对于第 4) 项, 各方面正在研究系统的方法论, 其概况将在 1.2.2 中介绍。

(i) 为开发、改善硬件设计的性能评价

重点是中央处理器 (CPU) 的性能评价。表示 CPU 性能评价指标, 通常使用平均指令执行时间或每单位时间的平均指令执行次数。后者经常使用 MIPS (Milion Instruction per Second) 为单位, 它是表示 CPU 速度的指标。决定 CPU 速度的项目有两种, 一为指令的出现频度和地址访问追踪等动态负荷特性, 二是称为 CPU 结构的 CPU 组成和控制方式。因此, 所说的 CPU 的性能评价不外乎是把 CPU 看作一个系统, 改变运行程序的种类和结构时定量地研究 CPU 的速度如何变化。使用的方法包括为掌握程序动

态特性的测定法和为模拟CPU动作的模拟法。因为测定对象是CPU的极微小动作，所以为了获得作为输入信息的程序动态特性，即使在硬件监视器或软件监视器中，都需要以单步追踪为主的高分辨率的测定技术。

目前除了模拟法，还未找到更普遍有效的用以调查CPU微小动作影响为目的的方法。有关CPU评价法的详细内容请参见文献3)。

(ii) 为设计、开发、改善操作系统所进行的性能评价

操作系统(OS)的性能评价目的分为如下两种。

- 控制方式(算法)的评价
- 减少总开销(减少OS运行时间和动态步数)

操作系统的作用，是巧妙地处理不定的多个用户对系统资源的使用要求，使系统有效运行。因此，如何决定它的控制方式，对OS性能具有本质的重要性。但是，OS只是控制方式与实现控制方式的软件总体，只有OS并不能独立构成计算机系统。因此评价OS的控制方式时，必须把使用的计算机系统，设定在具体环境条件后才能运行。

控制方式的评价指标，要根据问题的特点灵活选择，很难找到通用的普遍方法。例如，采取虚拟存储方式的操作系统中，在进行页面调度算法评价时，把页面出错率定为评价指标较为合适，而在评价进程管理中优先权的控制方式时，可能要把各个优先权进程的CPU等待时间选为评价指标。

关于控制方式的最有效的评价方法，是蒙特卡罗型的模拟法。当然也有的场合求助于解析法，但对于复杂的控制方式，目前解析法显得无能为力，不得不依赖于模拟法。

另一方面，在为减少OS运行时间的性能评价中，测定法是它的基础。详细测定OS的运行时间(或动态步数)，然后，抽出那些使用频度和运行时间中，占有出乎预料的较大比率的模块进行改进。为此，需要使用分辨率高的测定工具，此外，编辑数据的程序功能好坏也有很大影响。

(iii) 为规划、开发应用系统所进行的性能评价

目的是要进行系统的综合性能评价。综合性能的好坏，通常从如下两个角度进行评价。

1) 系统的服务性

服务性的好坏进而由如下两种评价指标进行评价。

· 作业的处理时间：响应时间及整个题目的运算时间 (Turn Around Time—TAT)。

· 每单位时间的处理作业件数：吞吐量(处理件数/秒)。依据不同的处理形态，处理单位有作业—JOB，事务—transaction和命令—command等不同称呼，评价指标的名称也不尽相同。

上述的两种指标呈相反关系。即增加处理件数，系统资源的竞争便加剧；增加处理时间，则服务性能就会下降。

性能评价的主要目的，就是要明确各种指标之间的定量关系。

更进一步讲，在具有不同处理形态的多个子系统，同时存在的多重处理系统中，由各个子系统，依据不同的重点定义上述的两个评价指标。在这种系统中，通过反映子系统相互之间的影响，可以求各指标之间明确的定量关系。

2) 系统的平衡

把系统资源的使用率作为评价指标时，需要诊断负荷是

否过分集中于特定的硬件、软件系统资源或所使用的方法，使昂贵的系统资源使用率太低而造成浪费等等。

定量地求出多重处理系统中花费在各子系统的负荷，再判断系统平衡的优劣。

这个阶段性能评价的主要特点，是因为还不存在实际系统，所以主要是使用预测技术。

性能评价在只能描绘出系统轮廓的规划阶段就开始，配合开发的每一个阶段反复进行。基本情况如图1.1所示，随着设计、开发的深入，由系统特性和工作负载特性组成的输入信息，也愈来愈明确，对应于各种水平的评价结果也会不断明确。实际上，这个阶段的性能评价过程中，最麻烦的就是掌握工作负荷这部分工作。

表示负荷的工作负载特性，基本由两种信息组成。

- 处理业务以什么样的频率进入系统。
- 处理业务使用了什么系统资源，使用了多少。

如果能知道业务的发生频度和终端的设置数，就能比较容易地推断前者，但是后者因为受OS或DBMS（数据库管理系统）等系统具有的控制方式的影响，所以判断比较困难。也有的情况是使用已经被实测的数据、调查在应用程序中所用的宏指令使用次数及其程序的动态步数，积累微小运行动作的数据再获得判断值。在这种场合，要事先测定各宏指令的OS运行时间（或动态步数），如果它不能作为基础数据使用的话，评价工作便不能实行。

依据可利用信息的范围与必要的各种评价程度，推断方法也要随机变化。使用数据库系统的场合问题更为复杂。即使调查了从各应用程序发出的DML（数据操作命令），为了

推断对磁盘设备的物理输入输出次数，从而还需要有关数据的物理存储区域信息与DBMS的控制方式信息。为了摆脱这种困难，把数据库的设计信息，作为输入信息而进行数据库系统的评价研究和相应软件系统的开发也正在探索中。

1.2.2 性能评价的系统性方法

a. 系统性的意义

系统性能评价并不是在系统引进时只施行一次就行了。通常在运行过程中要反复进行各种评价。在目前的信息处理环境里，由于增加要求要处理的数据量以及逐年不断要求更高级复杂的处理功能，必然导致计算机系统负荷量的增加，一直按最初引进的系统运行，不可避免会使性能下降。

系统管理员所面临的课题之一是对应于外部环境的变化“如何管理、维护或提高系统性能”。这是从性能角度出发的系统管理员应进行的“系统管理”目的。

为此，正在进行将传统分散存在的各种测定技术、性能预测方法及工具组织在统一的体系下的尝试。这种尝试的重要目的，是明确传统的零散实施的系统测定、诊断、改进、性能预测等评价工作及方法的相互联系，使它们有效地组合为一体而提供“标准的评价系统”，用以减少正如在1.1节中所指出的目前用户的苦恼（“没有标准化规程”、“测定、预测工具不完备”等），尽管减少得不多。之所以这样讲，正是因为现状还存在许多不足之处，有待今后进一步向系统性的评价发展。

我们把这种系统性评价技术工具的整体叫作“性能评价系统”，这种系统究竟应具有怎样的组成及功能呢，这里仅向读者提示一个方案。