

计算机系统性能评价

王绪宜 编著

JISUAN JIXITONG XINGNENGPINGJIA

南京大学出版社

计算机系统性能评价

王绪宜 编著

南 京 大 学 出 版 社

1992·南京

(苏)新登字第011号

计算机系统性能评价

王绪宜 编著

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 江苏省丹阳练湖印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.75 字数 263 千

1992 年 9 月第 1 版 1992 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—3000

ISBN 7-305-01356-0/TP·40

定价: 5.80 元

前 言

虽然计算机性能的评价问题是随着电子计算机的问世而产生的,但对其进行认真系统的研究则是从 60 年代后期才开始的.其重要性随着计算机系统复杂性和应用复杂性的增加而日益显著.其研究领域涉及了数学、软件和硬件等多方面,并在每个方面都取得了有效的成果.因而,在计算机系统设计、性能比较(选购)、性能改进等广泛的专业领域里得到了应用,使系统设计者,系统分析员,计算中心管理人员,经销人员以及广大的计算机用户都可以藉助性能评价的知识有效地解决各自的问题.

国外从 70 年代中期开始在高等学校研究生或高年级大学生中开设性能评价课.进入 80 年代,国内对性能评价的研究工作逐步开展,并陆续在一些学校的研究生中开设有关课程.作者从 1984 年对计算机系研究生开设《计算机系统性能评价》课,每年都对内容进行更新和修改,力图纳入国外较新的研究成果,但由于作者水平有限,书中不足乃至错误之处在所难免,敬希读者批评指正.

0577/17

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 评价研究的重要性	(1)
1.2 计算机性能评价的对象	(2)
1.2.1 计算机系统	(2)
1.2.2 计算机系统的性能	(3)
1.2.3 典型的计算机系统	(3)
1.3 性能指标	(6)
1.3.1 系统的处理能力	(6)
1.3.2 系统的响应能力	(6)
1.3.3 利用率	(6)
1.4 性能评价技术	(7)
1.4.1 分析技术	(7)
1.4.2 模拟技术	(8)
1.4.3 测量技术	(9)
第二章 基本原理	(11)
2.1 引言	(11)
2.2 服务时间分布	(12)
2.2.1 数学期望和方差	(12)
2.2.2 离散分布	(13)
2.2.3 连续分布	(13)
2.3 普阿松过程	(17)
2.4 调度算法	(18)
2.4.1 先来先服务(FIFS)	(18)
2.4.2 后来先服务(LIFS)	(18)
2.4.3 循环调度法(RR)	(18)
2.4.4 处理机共享(PS)	(18)
2.4.5 最短的先服务(SRTF)	(18)
2.5 性能参数之间的关系	(19)
2.5.1 吞吐率、利用率和平均服务时间的关系	(19)
2.5.2 吞吐率、平均队长和平均响应时间的关系(里透公式)	(19)
第三章 分析技术	(22)
3.1 引言	(22)
3.2 马尔可夫过程	(22)
3.2.1 指数分布的无记忆性	(22)

3.2.2 普阿松过程的性质	(23)
3.2.3 马尔可夫状态	(24)
3.2.4 状态概率和平衡方程	(24)
3.2.5 例 3.1	(25)
3.3 稀疏矩阵解法	(26)
3.4 递归解法	(29)
3.5 概率分布的指数级表示法	(30)
3.6 分支爱尔朗分布例解	(33)
3.7 M/M/1 排队模型	(34)
3.8 M/G/1 排队模型	(37)
3.9 作业类	(42)
3.10 多重访问	(44)
3.11 开网络	(45)
3.12 闭网络	(49)
第四章 近似分析技术	(56)
4.1 引言	(56)
4.2 聚合法	(57)
4.2.1 聚合法的理论基础	(58)
4.2.2 例 4.1	(61)
4.3 扩散近似法	(61)
4.4 平均值分析法(MVA)	(64)
第五章 模拟技术	(66)
5.1 引言	(66)
5.2 模拟模型的描述和构成	(68)
5.2.1 基本问题	(68)
5.2.2 模拟程序的结构	(70)
5.2.3 事件表	(73)
5.3 工作负载的模拟	(76)
5.4 实现模拟程序的语言	(80)
5.5 模拟实验的设计	(80)
5.5.1 模拟实验设计举例	(80)
5.5.2 模拟运行周期的持续时间	(81)
第六章 测量技术	(88)
6.1 引言	(88)
6.2 测量工具概述	(88)
6.3 硬件工具	(90)
6.3.1 一般情况	(90)

6.3.2	固定的硬件工具	(90)
6.3.3	硬联逻辑工具	(90)
6.3.4	存储程序工具	(93)
6.4	软件和固件工具	(95)
6.4.1	一般情况	(95)
6.4.2	内部驱动工具	(96)
6.4.3	外部驱动(取样)工具	(99)
6.5	测量实验的设计	(104)
6.5.1	概述	(104)
6.5.2	因素的选定	(104)
6.5.3	因素中各水平的选定	(105)
6.5.4	测量周期的选定	(106)
6.6	测量结果的说明与分析	(110)
6.6.1	原始数据的整理和测量结果的表示方法	(110)
6.6.2	方差分析	(111)
第七章	评价技术的应用	(114)
7.1	性能评价在系统设计方面的应用实例——多处理机系统的评价	(114)
7.1.1	服务分布的影响	(114)
7.1.2	多道程序重数的影响	(116)
7.1.3	存储冲突的影响	(116)
7.1.4	调度算法的影响	(117)
7.1.5	多任务设计对系统性能的改善	(117)
7.2	性能评价在系统选择方面的应用——Benchmark 的设计与实例	(119)
7.2.1	Benchmark 的一般设计原则	(119)
7.2.2	Benchmark 的分级设计	(119)
7.2.3	Honeywell DPS8 Benchmark 分析	(121)
7.2.4	功能级 Benchmark 的设计	(122)
7.3	性能评价在系统改进方面的应用——交互系统的改进	(123)
7.3.1	超载通道的校准	(124)
7.3.2	双计算机系统性能的校准	(127)
第八章	计算机性能模型研究的发展	(130)
8.1	早期的研究	(130)
8.1.1	分时系统的单服务器模型	(130)
8.1.2	分时系统的机器修理模型	(130)
8.1.3	多道程序设计系统的排队网络模型	(131)
8.2	70 年代后期的发展	(132)
8.2.1	BCMP 网络	(132)
8.2.2	非乘积型网络的近似解法	(133)
8.2.3	I/O 子系统模型	(134)
8.3	80 年代的发展	(135)

4.3.1 多链乘积型排队网络的近似分析	(135)
4.3.2 多链非乘积型网络的近似解法	(135)
4.3.3 负载共享	(139)
附录 A 模拟程序的例子	(141)
附录 B 概率统计的有关知识	(157)
附录 C t 分布的双侧分位数表	(160)
参考文献	(161)

第一章 绪 论

1.1 评价研究的重要性

在计算机科学与技术领域里,用性能价格比来评价计算机系统已经是尽人皆知的事了,但是,随着计算机系统复杂性和计算机应用复杂性的日益增加,评价计算机系统的性能也变得日益复杂和困难了.人们所熟知的一些简单评价方法,诸如:指令混合、PDR 指数等,只能反映系统局部的能力,主要是 CPU 的处理能力,不能反映整个系统的处理能力,不能反映操作系统的水平、数据库的功能、系统分时处理能力、联网系统的通信功能等等;也不能反映一个计算机系统在不同应用环境下的效率.事实上,随着计算机系统结构、软件和工艺技术的发展,无论在性能上和价格上,CPU 在整个计算机系统中所占的比重都大幅度地降低,反映 CPU 的能力,作为直观简易的方法虽仍有可取之处,但作为严格的精确的标准则是不科学的,也是远远不够的.尽管性能评价的方法在计算机开始商品化的 50 年代初就已经提出,但是它在计算机领域里形成一个独立的研究方向则是 70 年代的事情.在研究上,它涉及了数学理论(主要是概率论和数理统计)、系统结构、系统软件、计算机模拟、计算机辅助设计(CAD)等学科和方向,有专门的国际学术会议定期地进行交流和发展,在应用上涉及到计算机系统(包括软硬件),从设计开发到市场选购、使用等所有阶段.在广泛的专业领域里,包括系统设计者、计算中心工作人员、计算机公司的各级经理、系统分析员以及用户都可以籍助于性能评价的知识和技术来满意地解决他们各自的问题.由于性能评价实用价值在计算机系统研究上所提供的科学方法,它吸引了国内外越来越多的研究工作者和高等学校教师的兴趣.性能评价已经成为计算机科学中一个重要研究方向,并在计算机科学与技术的发展中起着重要的作用.

下面我们将进一步说明性能评价在一些重要应用方面所起的作用.

在计算机系统设计方面的评价和预测

以往,在计算机系统设计时,系统设计者根据预定的性能指标和现有成熟的工艺技术手段拟定系统方案,选择部件和电路元件以及各种设备以便进行系统设计和逻辑设计.由于计算机系统的复杂性,设计者很少考虑也很难预测系统性能所达到的水平.例如,一个简单的情况:在额定的工作负载下,分时终端上的响应时间是否在允许范围内,是否为用户可接受的.设计者往往在设计完成并实现后,才能确知,而且如果系统性能不能达到预期的要求,设计者所依靠的手段,往往就是改用更快的 CPU,更大容量的 RAM 或磁盘,这不仅损害了原系统方案的完整性,而且提高了系统的成本.如果把原方案推倒重新设计,则既增加了设计费用也损失了时间.使用性能评价技术对各种系统方案的分析、模拟和比较,可以在设计的早期阶段就排除掉不可行的方案,通过对各类的工作负载的预测,可以对系统软硬件拟定合理的配置档次,使设计具有科学性和预见性而避免盲目性.现在,性能评价的重要性已在设计者中得到广泛的承认,它已是设计和实现工作的重要组成部分.

用户在选购计算机系统时的比较评价

性能比较和选择是评价研究的另一个重要应用方面,用户不能只根据产品广告和厂家提供的资料作为选购机器的依据,这不仅因为商业宣传多有言过其实之弊,而且因为同一计算机系统在不同的应用范围所体现的成本效率是不同的,因此,用户必须提供适合于自己的比较评价的手段,例如,用户可以根据自己应用程序的特点,编制有代表性的测试软件包——基准测试程序(Benchmark),把它在要选购的各类计算机上运行,比较它们的处理效率,从而可以评价它们的性能高低。

对现有运行中的计算机系统的性能校准和改进

在一个新的计算机系统安装使用后,厂家和用户都很关心它是否实现了它的全部功能,发挥了它的潜力;它的性能是否与其全部用户所提供的工作负载相适应;如何消除瓶颈(如果存在的话),使其工作在最佳状态等问题,这些都属于性能校准的问题。对于一个复杂的计算机系统来说,性能校准也不是单靠直观和经验所能解决的,它既要求对系统各个部件之间的复杂的相互作用的清晰而深入的理解,又依赖于对评价技术的正确应用,性能校准对提高每一个计算机系统的效率都是很重要的。

对现有系统的性能评价还可为系统性能改进和现场功能扩充提供可靠的依据,例如,随着计算机系统用户和工作负载的增加,将导致系统能力的饱和,处理的延迟,以及功能储备的减少,这些变化通过性能测量可以检测出来,计算站的管理人员可以根据检测结果决定系统如何改进和扩充,经过改进后的系统,仍然通过性能测量来检查它的性能价格比是否得到提高。

性能评价的应用主要体现在上述三个方面,实际上,包括了计算机系统从设计实现到使用乃至改进的整个过程。

1.2 计算机性能评价的对象

本节从性能评价的观点说明什么是计算机系统?什么是计算机系统的性能?

1.2.1 计算机系统

计算机系统由系统硬件和系统软件组成。

硬件部分包括:CPU、存储器、I/O 处理机、通信处理机、接口、外部设备、联机终端等。

软件部分包括:操作系统、汇编、编译系统、服务程序、数据库等。

这些软硬件的组成部分均称为系统资源,它们都有其属性,称为系统参数,这些参数可以是数值的,例如:CPU 时钟周期,存储器的容量和存取周期,外部设备的存取时间或传输速率等;也可以是非数值的,如操作系统的调度算法,程序在磁盘中的存储方式等,系统参数是系统性能评价中需要考虑的因素,因为系统参数的修改将引起系统性能的改变,原理上,系统的修改将产生另一个不同的系统,但如果改变的不是系统的主要部分,则称为同一系统的新配置或改型,配置(configuration)一般是指一套相互连接的系统硬件部分,而改型(version)则多指面向软件的修改。

此外,性能评价所要考虑的因素还有系统工作的环境,一个计算站或计算中心就是由一个具体的计算机系统及其环境所组成的复合体。

系统的环境主要是指驱动系统的工作负载,工作负载是指工作站的全体用户所提交的输入信息:程序、数据和命令,也可以说是全体用户向系统提出的总的资源请求,因为程序、数据

和命令都隐含或显含了对资源的请求,这从描述工作负载特性的工作负载参数可看出来,例如:作业的 CPU 时间,作业的 I/O 请求,存储器请求(容量请求)等等。

全体用户通过工作负载来驱动计算机系统,系统则在工作负载的作用下呈现其处理能力(性能)。如果工作负载过重或工作方式不适当,系统性能就会下降,对系统性能的测量将有助于对工作环境的改善,当系统性能下降时,或限制用户的个数,或改变其工作方式,抑或改进系统的性能,因此,测量和评价系统性能应视为计算站的正常工作,如图 1.1 所示。

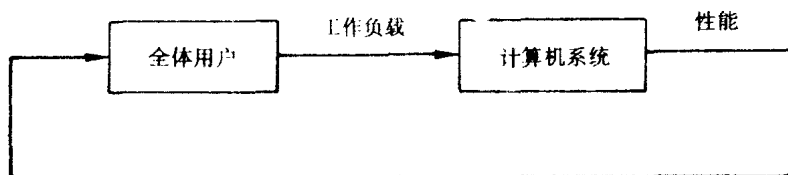


图 1.1 计算站的方框图

当然,作为系统的工作环境,计算站的管理水平、维护能力和操作员的技术水平都将对系统性能的发挥产生影响,但是这些因素的随意性太大,非本书的研究范围。

1.2.2 计算机系统的性能

习惯上论及一个系统的性能,往往是说它质量的好坏,这就包含它工作的正确性、可靠性和工作能力,正确性是指它的预期的功能能否正确地实现,例如:运算结果是否正确,操作系统的调度能否正确执行等等;可靠性一般用系统平均无故障运行的时间来衡量;工作能力则是指系统完成任务的速率,例如,可以用单位时间内执行作业的个数来衡量,应该说,三者之间既有差别,又有联系,不能想象一个正确性有问题、可靠性差的系统具有很高的工作能力,但是,在研究上可以把三者分别考虑,在性能评价的研究领域里,计算机系统的性能仅指其工作能力,而认为所研究的系统总是正确的和可靠的,不过,应该指出,由于计算机系统结构的日趋复杂,多处理机系统的不断发展,特别是局部故障概念的实现(即当一个多机系统局部出现故障时,系统能自动实现故障隔离,集中其未出错的部件去完成已出错部件的工作,系统自动进行资源的重新配置,降低性能运行,故又称故障弱化)使可靠性和性能评价有结合起来研究的趋势,但本书重点在基本原理和基本技术的讨论,故不考虑可靠性的问题。

关于性能和价格的关系,性能和价格是经济世界的两个侧面,性能使得一个系统对其用户具有价值,尽管性能的提高往往伴随着成本的提高,但也经常由于新技术的发明和采用,使成本降低因而也使产品价格大幅度下降,因此用性能/价格比作为系统本身的评价标准一般是合适的,但是,由于价格受市场上商品竞争的影响很大,很难把性能和价格直接联系起来进行评价研究,因此本书从教学考虑,只讨论计算机系统性能的评价问题,但我们在思想上应该记住,性能评价总是伴随着系统价格的评价的。

1.2.3 典型的计算机系统

性能评价领域里所研究的计算机系统是多种多样的,除单处理机系统外,还有多处理机系统,计算机通信网络(局域网和广域网)等;也可以是系统的一个部件,例如 CPU、I/O 处理机;或是一个软件,例如操作系统的调度算法,应用程序的使用频率等,但从性能评价的观点,它们有着共同的分析原理和评价方法,其主要区别是系统的使用方式和其操作系统进行资源管理的类型,因此,我们可以把当前最常见的通用计算机系统结构作为评价研究的典型计算机系统来描述性能评价的基本原理和方法,并在不同的工作方式下对系统分别进行讨论,在此基础上进一步讨论多处理机系统、计算机通信网络系统性能评价的特点,图 1.2 是一典型计算机系统

明结构。

图中 CPU 是中央处理机, M 是主存储器, c_0, c_1, c_2, c_3 均为输入输出通道, 它们分别控制各种外围设备, 其中, c_0 是字节多路通道, 控制慢速外部设备: CR——卡片读入机, LP——行式打印机和 C——控制台; c_1 是数组多路通道(或选择通道), 控制高速外部设备 D——活动头磁盘和 T——磁带; c_2 也是数组多路通道(或选择通道), 控制固定头磁盘或磁鼓, 主要用于存放系统软件; c_3 为字节多路通道或直接通道, 控制联机终端, CU 为各种外部设备控制器。

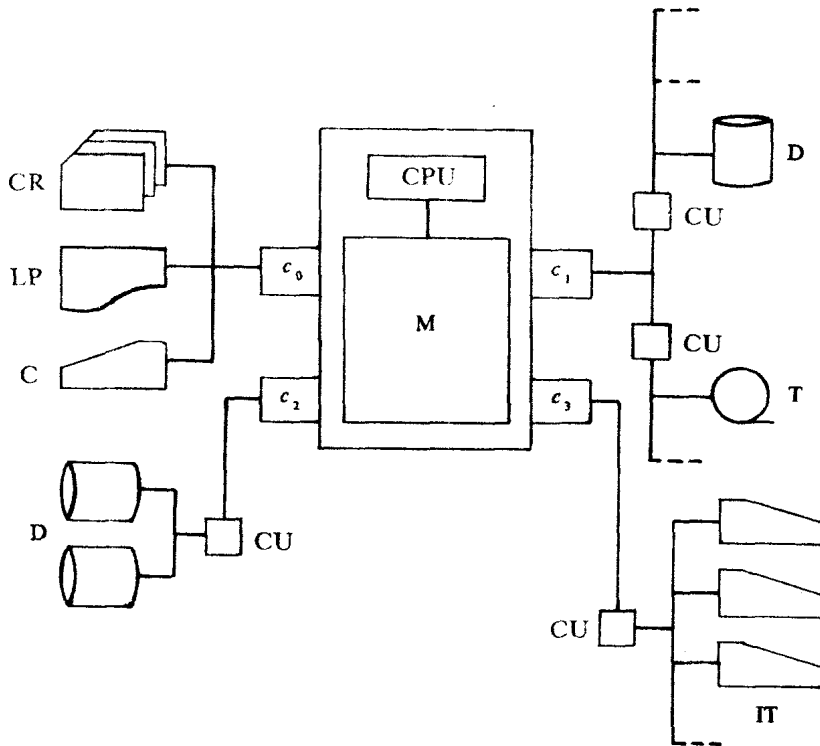


图 1.2 典型的计算机系统结构

图 1.2 所示之典型计算机系统, 根据其工作方式和所具功能而配有不同的操作系统, 按照由简单到复杂的顺序, 讨论以下情况。

一、单程序批处理方式

这种情况下, 操作系统和硬件都是最简单的, 图 1.2 中可只有 c_0, c_1 两个 I/O 通道, 每个用户在使用系统完成它的作业时, 都是独占的, 只有当一个作业完全退出系统时, 另一个作业才能进入, 对于组成每个作业的若干作业步, 在系统中也是逐个地、顺序地执行的, 系统资源 CPU 和 I/O 通道多为轮流工作, 都有很多时间处于空闲状态, 但用户却必须在他独享系统的整个期间付出费用, 显然, 这种工作状态下的系统效率很低而用户使用系统的费用却很高, 现在, 这种单程序批处理方式基本已被取代, 但在评价研究中可用来说明基本的原理和方法。

二、多道程序批处理方式

在多道程序设计的计算机系统中, 当一个程序需要使用 I/O 设备而空出 CPU 时, 操作系统可把另一个处于就绪状态的程序调进 CPU 执行, 这样就可实现多个程序对系统资源的共享, 理想的情况, 用户的每个程序只需付其占用资源时的费用, 这时, 系统的任一资源总被某一程序占用, 从不空闲, 因而系统的使用效率是最高的, 但事实上, 由于资源的有限性, 资源共享

的同时,又可能产生资源的竞争,即当两个以上的程序同时需要同一资源时,该资源只能满足其中一个的要求,其余的则必须排队等待,这样就延长了程序总的处理时间.对于一个设计合理的系统,可使其资源共享之利息是大于资源竞争之弊.因此,资源竞争是性能中很重要的因素,但它又是很难量化的因素,如果没有资源竞争,性能评价相对来说要简得多(即如果资源是无限的).所以,评价研究的重点在于有限资源的共享和竞争.其基本数学理论即排队论.多道程序批处理方式下,随着操作系统功能的增强,系统软件也变得复杂和庞大.在系统配置上,往往把系统软件专门放在专用的磁鼓或磁盘(固定头)上.因此,在图 1.2 中,比单程序批处理方式多加了 c_2 通道.

此外,现代计算机系统中,大多采用虚拟存储技术来实现多道程序设计.非虚拟存储方式或称人工存储管理方式,把有限的主存用户空间划分为区,分配给用户程序.用户程序必须在所分配的存储区内容纳得下时,才被接纳执行.因此,用户程序规模受到很大限制.较大的程序若要执行,必须预先先把程序划分为小的程序块,采用覆盖技术更替地运行于所分配的存储区.这又给程序员带来很大麻烦.虚拟存储技术消除了上述的限制和麻烦.要执行的用户程序放在磁盘中(不是主存中),系统只把当前要执行的一段程序(通常为一页)调入主存,当访问到不在主存的指令或数据时,系统发生“页面中断”,由操作系统自动把需要的一页(它包含所要访问的指令和数据)由磁盘调到主存.如果此时主存没有空闲的页面区,则根据一定的淘汰算法把当前暂时不用的页面调出主存.不难看出,虚拟存储技术向用户提供了一个接近磁盘空间的主存空间,从而使系统功能和应用范围得到很大增强,但随之而来的是增加了操作系统的内部开销,因而降低了系统对用户程序的处理效率.如何权衡这些得失利弊,如何改进系统性能,都是性能评价所研究的问题.

三、交互方式

这种方式一般是与批处理方式同时存在于一个系统中.利用显示终端或电传打字机实现用户和系统的会话.用户从终端键盘上打入命令和各种信息并发送给系统,系统接收并处理后,把回答信息发回到该终端,并在显示器上显示出来.这种方式下,系统必须配置连接终端的多路通道,如图 1.2 中的 c_3 .操作系统通常采用分时技术来处理人机间的交互作用.它限制了用户一次连续使用资源(特别是 CPU)的最大时间间隔(称为时间片),一个用户命令如在规定的时间内没执行完,则挂起来排到队列中,等再轮到它时,再继续处理直到完成.交互系统也可以有单道程序和多道程序之分,也可以向用户提供虚拟存储器.在交互系统中,用户终端的响应时间常是主要评价的性能.

四、多处理机系统

在上述单处理机(CPU)系统性能评价研究的基础上也将介绍多处理机系统和计算机通信网络系统的性能评价.与单处理机系统的评价研究的文献相比,多处理机系统的还较少.我们主要研究多个相同 CPU 紧密耦合的系统中 CPU 的个数、多道程序的重数、CPU 的服务分布和调度算法(包括优先度)等对系统性能的影响.

五、计算机网络系统

多个在地理上分散的计算机系统或工作站用通信线路连接起来并配上相应的通信软件就构成了计算机通信网络(广域网或局域网).对计算机网络来说,不仅要研究单个计算机系统的性能,而且要研究信息在通信网络中传送所产生的影响.这些信息不仅是用户自己的信息,而且还包含为控制和协调计算机网络工作的通信软件协议的信息.事实上,信息在通信中的传输

延迟构成了用户响应时间的主要部分,通信连接的成本也占了使用网络费用的相当大的比例。因此,如何提高通信网络的效率,减少用户响应时间,将是很值得研究的课题。本书将利用排队论的成果简要地讨论计算机网络性能评价中的一些问题。

1.3 性能指标

计算机系统的某些性能难以量化。例如:系统是否易于使用,易于安装,易于功能扩充;指令系统的功能是否完善,等等,都无法用一个量来表示。幸而这些性能都能够直观地进行比较和评价,不在评价研究的范围之内。本书要讨论的是那些能够量化的性能指标,如系统的处理能力,系统在启动后立即响应的能力和系统的利用率。

提到系统的处理能力,我们首先说一下系统所处理的信息量。目前,常用的有:作业,作业步,程序,进程,任务,事务(transaction),交互命令和指令等。所有这些量都不是确定的信息单位,且常具有很大的随机性。即使对机器语言指令来说,不仅不同指令的执行时间差别可能很大,就是同一指令在处理不同数据时也可能相差很大。它们不像长度单位那样确定,而是一个概率分布或平均值。此外,上述信息量尽管在操作系统课本中各有着明确的定义,但在性能评价中并不予以严格区分,只要不在同一次叙述中混用即可。

在性能评价中主要讨论以下三类性能指标:

1.3.1 系统的处理能力

吞吐率:系统在单位时间内所能处理的信息量,例如:每小时处理的作业数。

通常所使用的 MIPS(每秒百万条指令)、PDR(处理数据的速率)也都属于这一类,但它们主要反映 CPU 的性能。本书主要考虑吞吐率。

1.3.2 系统的响应能力

(1) 响应时间:这主要是指系统在交互方式下,系统对终端用户的响应能力。响应时间可定义为:从用户在终端键盘上输入最后一个字符的时刻到终端输出第一个字符的时刻这一时间区间。

(2) 周转时间:主要用在批处理方式。它表示从作业由输入设备提交给系统到结果在输出设备上出现这一段时间。

(3) 排队时间:主要用在利用排队模型分析系统性能的情况。它表示作业在队列中等待的时间和系统对作业的服务时间两部分的总和。

1.3.3 利用率

在评价者所考察的一段时间 T 内,系统的某一部分(硬件或软件)被使用的时间 t 与 T 的比值,称为系统这一部分的利用率(虽然利用率不是直接表示系统工作能力的指标,但是它和前两类指标有着密切的关系(见 2.5 节)。不难看出,提高系统各部分的利用率,直接关系到系统性能的改进,所以利用率也是性能评价中的重要指标)。对系统硬件,诸如:CPU、主存、I/O 通道、I/O 设备的利用率的考察,可以是所有处在工作状态(忙状态)的时间,也可以只考虑用户程序所占用的时间(除去内部开销)。对于系统软件,诸如操作系统、编译程序、数据库等,则常常考察它们被使用的频度。在具体研究中,根据评价的目的而定。

上面提到,用户所提交的作业(程序、命令等等)是各种各样的,含有很大的随机性。换言之,系统的工作负载(对系统资源的要求)通常不是确定的量,而是一些随机变量,要用概率分

布来加以描述. 因此, 在此工作负载的驱动下, 系统的性能指标(吞吐率、响应时间等等)也呈现为随机变量, 应以某一概率分布(例如指数分布)来描述. 但通常为了方便起见, 我们希望用一个数或几个数而不是用一个分布函数(或一条曲线)来表示性能指标. 这时可以采用分布函数的均值和标准偏差等确定量. 为了说明这一问题, 我们来看一个简单的例子.

例 1.1 在一个交互式多道程序设计的系统中, 设有 6 个终端用户, 同时在各自的终端上分别打入命令 $c_1 \cdots c_6$, 并假定在此之前, 它们的程序都已被全部装入主存(非虚存方式). 系统按先来先服务的排队规则依顺序 $c_1 \cdots c_6$ 处理, 其中 c_1, c_4, c_5, c_6 为编辑命令, 花 1 个 CPU 时间单位; c_2, c_3 为编译命令, 需花 4 个 CPU 时间单位. 设时间片为 2 个 CPU 时间单位, 操作系统从一个进程到另一个进程的 CPU 转换时间是 0.2 CPU 时间单位. 每个进程结束(命令执行完毕)在终端屏幕上给出回答. 如图 1.3 所示. 从图中看出, 6 个用户命令的响应时间是各不相同的. 不难想象, 在一般情况下, 对大量终端命令的统计, 可能得出某一近似的概率分布函数来描述系统的响应时间. 在本例中, 我们可以用平均响应时间 $\bar{t}$ 来表示.

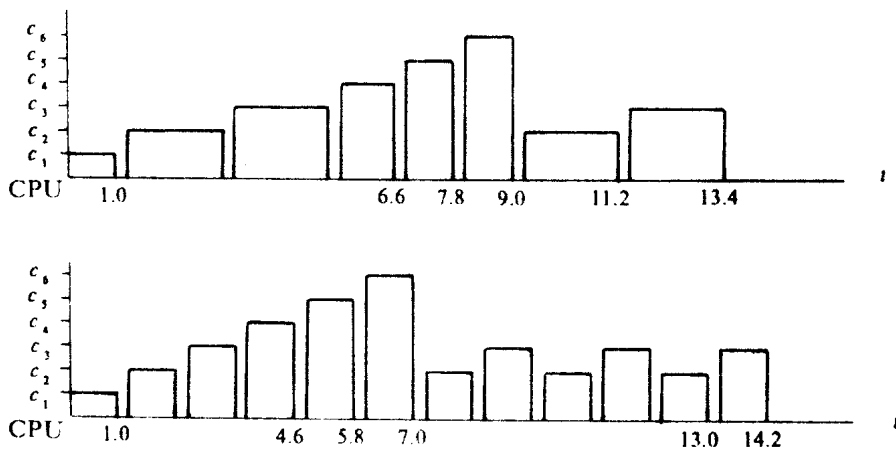


图 1.3 例 1.1 中命令执行时间图

$$\bar{t} = (1 + 6.6 + 7.8 + 9 + 11.2 + 13.4) / 6 = 8.16 (\text{CPU 时间单位})$$

响应时间的标准偏差值则是:

$$\delta = [(8.16 - 1)^2 + (8.16 - 6.6)^2 + (8.16 - 7.8)^2 + (8.16 - 9)^2 + (8.16 - 11.2)^2 + (8.16 - 13.4)^2]^{\frac{1}{2}} = 9.55 (\text{CPU 时间单位})$$

平均响应时间 $\bar{t}$ 表征了系统响应时间量值的大小, 而其标准偏差则表征了响应时间的变化情况.

概率平均值和标准偏差对于所有的性能指标都是非常重要的. 它们可以给系统性能以简单明确的表征, 所以是最常用的两个量值.

1.4 性能评价技术

评价技术是为性能评价提供所需信息的方法. 评价技术一般分为三种: 分析、模拟和测量.

1.4.1 分析技术

在一定的假设条件下, 计算机系统参数和性能指标参数之间可以存在某种函数关系, 按其

工作负载的驱动条件列出方程,用数学方法求解,则可直接得出系统性能指标的值,诸如:吞吐率,利用率,平均排队时间等.这种方法我们称为分析技术.性能参数和系统参数之间的函数表达式就可看作系统的分析模型.由于计算机系统是一个多资源系统,主要问题就是用户作业对有限资源的共享和竞争.因此系统性能分析的基本数学工具是排队论.用排队网络分析计算机系统性能的研究已经开展了 20 余年(1967 年),其中不乏重要的成果,特别是乘积型排队网络的研究结果尤为完整和快速有效.尽管用排队模型对系统的分析中必须作许多使问题简化的假设,但所得的结果与实际观察的结果的一致性常是令人满意的.特别是分析技术不仅具有理论的严密性,而且在人力物力的耗费上较其他评价技术要节约得多.因此对它的研究一直吸引着评价研究工作者.

但是可以用数学方法求得分析解的排队模型的类型是很有限的.并且还要作许多脱离实际的过分简化的假设.所以分析模型的一个重要研究趋向,是对大型系统的分析模型用近似计算技术求解.已采用的近似技术包括:聚合法,均值分析法和扩散法等.现在已经有许多软件包用于性能模型的求解和评价.因此,分析技术既包括对性能模型的分析求解,也包括求近似解.“分析”之词已不甚确切.

1.4.2 模拟技术

模拟(simulation)在计算机专业领域里有很多涵意,本书是指计算机系统性能模拟.它包含以下几项工作:

- 按照被评价的计算机系统的运行特性建立一个系统模型;
- 按照系统可能有的工作负载特性建立工作负载模型;
- 用模拟语言或通用语言编制一个模拟程序(simulator,或称模拟器),模仿被评价的系统的运行过程,在一个现有的计算机上执行;
- 设计模拟实验,依照评价目标,选择与目标有关的因素:系统参数、工作负载参数以及其他有关条件,并给出各种因素的不同水平(level),即各种因素的不同数字或情况(例如:在分页实验中,主存容量是一个因素,其水平有三个:64K,96K,128K;淘汰策略是另一个因素,其水平有三个:LRV,FIFO,RAND),然后定出实验步骤.

这样,通过模拟程序的反复运行,就可提供评价研究所需要的数据.下面我们再以例 1.1 的情况,来说明模拟的实现.

例 1.2 对例 1.1 中所述的交互式多道程序系统,可以用图 1.4 的流程图来模拟.系统的模拟程序即可以用此算法流程进行编制.模型中的系统参数有:命令的优先级,命令处理的转换时间 t_m ,CPU 服务时间 t_{pm} ,时间片的大小 q 等;工作负载的参数有:命令的到达时间,请求 CPU 服务的时间等.各个参数的改变,可以得到不同的性能参数:吞吐率,响应时间等.

模拟程序的规模一般是很大的.模拟时间也很长.因此,通常模拟程序采用层次的模块化结构设计,以便于扩充和修改.另外,好的层次结构设计也可以显著地缩短模拟运行时间.

模拟技术的应用范围最为广泛,它和分析模型方法一样既可应用于系统设计,也可以用于现有系统的比较和改进的评价研究.但由于分析技术对许多模型求解的困难,所以设计中的系统也多采用模拟方法.模拟技术的主要限制是过大的成本和时间,经常不得不因此而影响模拟的精度.解决这一问题的一个可能的方法是混合模型,即分析和模拟的结合,只要子模型之间的接口是清晰的,混合模型的实现就没有技术问题.做得好,它可以兼取分析模型成本低效率高和模拟模型精度高的优点.

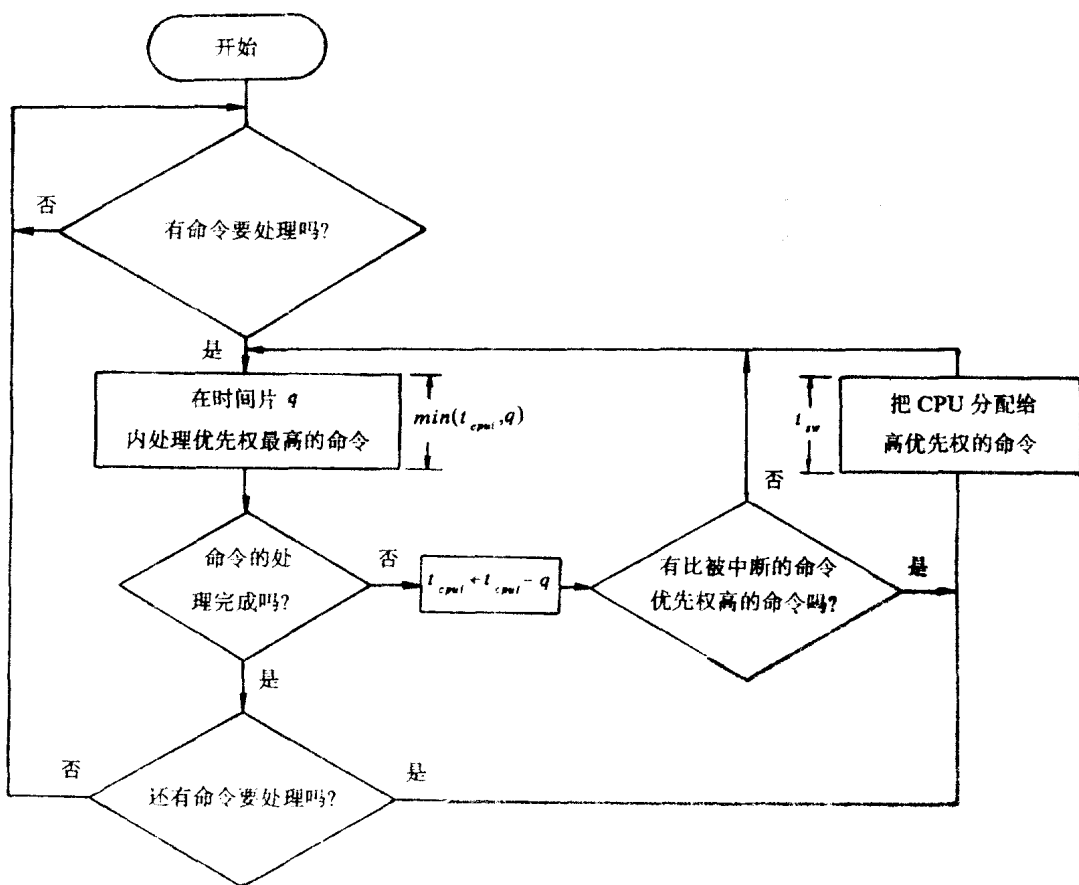


图 1.4 简单的交互式系统的模拟模型

1.4.3 测量技术

测量技术只能是对已投入运行的实系统的测量,因此它不能用于设计中的系统的性能研究,这是它的局限性。但是由于测量技术是对现有实系统的直接测量,因此它所得的数据是最真实、精确和可信的。分析模型是否可用,模拟模型是否精确,最终还是要用测量来验证。即使在系统设计阶段评价者所依据的经验,也是在对现有系统的测量中积累的。因此,应该说,测量是最基本的评价技术。

测量技术所采用的工具有:硬件设备或仪器、软件(常包含在系统程序里)和另一个计算机系统。

按照测量目的,有以下几种应用。

(1) 性能监视。利用系统本身设计时已经设置的控制寄存器、状态器和监视程序,记录系统运行的各种状态(也包括出错记录)。这些记录都可提取评价研究的数据。

(2) 记帐。现代计算机都配有记帐程序,记录每个用户使用的资源种类和时间,计算并累计用户每次应付的费用。记帐程序同时也提供了系统资源使用的效率。

(3) 模型验证和性能比较。任何预测模型(分析的或模拟的)都只能在实际环境下用测量数据来验证。这时根据评价的要求需要设计专门的测量工具(软件或硬件)加到系统上。另外还需要提供数据整理和分析的程序。