

计算机系统性能仿真分析

张爱莉, 兰 蓉

(西安交通大学 经济金融学院, 陕西 西安 710049)

摘要:对计算机系统性能分析技术和方法进行了研究,尤其是性能仿真方法的使用,并以数据库系统为例,进行了系统性能测试分析。

关键词:性能分析;仿真;随机数

中图分类号:TP302.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274X(2001)05-0379-04

1 计算机系统性能分析技术和方法

性能是计算机系统设计、实现及使用时的一个关键评价标准。任何与计算机系统相关联的人都应该能提出对系统性能的要求,并能对不同选择进行比较,进而作出满足要求的最佳选择。在这里,系统可以是硬件、软件或数据库及计算机网络。

在进行计算机系统性能分析时经常会出现错误而导致分析失败。总结研究和工程经验,获得进行性能评估研究的步骤:①确定研究目标及定义系统的界限;②列出系统服务及可能的输出;③选择系统性能指标;④列出系统和负载的参数;⑤选择因素及因素的取值;⑥选择评估技术;⑦选择负载;⑧设计实验;⑨分析和解释输出;⑩给出结果,如果需要,从头再来。

在此,选择一个正确的评估技术和一个评价指标是所有性能评价项目的两个关键步骤。

常用的评价技术主要有分析模型、仿真及测量^[1]:①分析模型是利用构造系统状态的数学模型来分析系统性能;②测量技术是利用在实际系统中加入测量点获得系统运行的实际状态,进行性能分析;③仿真是利用模型对实际系统进行实验研究的过程

选择一种技术时应该考虑4点:首先考虑被研究系统所处的生命周期阶段。测量是对一个已经存在的系统进行改进,实现系统新版本;仿真和分析模

型可以用于一个系统的任何阶段。第二要考虑进行系统评估可用的时间,如果时间要求很紧,那么分析是惟一的方法;仿真需要花费较长的时间;测量的时间处于分析及仿真方法之间。第三要考虑各种技术使用的工具,例如对模型的精通程度,对仿真语言的掌握及可用的测量设备。第四考虑希望的评估精确程度,分析模型由于作了许多假设和简化,其结果往往与实际相差很大;仿真可以控制其时间,获得不同的详细程度而测量来自实际系统,因此要精确的多。

性能指标的确定可以通过分析系统服务和系统输出来确定。一个系统的各种服务的执行结果只可能有3种形式:一是服务被正确执行,那么服务响应时间、吞吐量、资源利用率成为其指标;二是服务被执行,但是执行结果不正确,那么出现各种错误的概率、出错间隔时间成为评估标准;三是服务不能被执行,那么出现这种事件的时间间隔、事件持续时间成为指标。

以下以仿真技术为例,介绍技术的实施方法及关键步骤。

2 计算机系统性能仿真

仿真是计算机系统性能分析非常有用的工具,尤其是被研究系统处于研究、设计阶段。但是,仿真模型常常失败,即产生无用结果或错误的结果。这有两种可能:一是模型设计者精通软件开发但缺少统计知识;另一种情况正好相反。同时,更多的仿真努

收稿日期:2000-10-05

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2000X14)

作者简介:张爱莉(1960-),女,陕西西安人,西安交通大学讲师,从事信息系统分析与设计方面的研究。

力没有最终完成而是提早夭折,这是由于一个真正好的仿真模型的开发需要花费很长的时间,而且往往比最初预想的要长得多。

仿真实常出现的错误包括:①不适当的详细程度,导致模型开发时间过长,同时仿真程序增加了出错和病毒的可能,调试难度增加;②选用不适当的语言,导致程序开发难度太大;③没有验证的模型中可能有错误或病毒,导致仿真结果无意义;④有错误的仿真模型,没有正确的反映系统本质;⑤不适当的初始条件;⑥太短的仿真时间,没有获得稳定系统状态信息;⑦不好的随机数产生器,使得随机数产生不均匀;⑧没有选好随机数生成的初始数值,使得随机数生成周期缩短。

根据出错及导致仿真失败的原因,得出仿真模型规划、开发及使用 3 个阶段应该考虑的问题。

2.1 仿真步骤^[2]

2.1.1 模型开发准备阶段 ①适当说明仿真目标;②适当确定达到目标的详细程度;③配备仿真模型开发各方面人员;④计划充分的时间进行开发。

2.1.2 开发模型阶段 ①随机数产生器是否能生成均匀、独立的随机数;②模型对端用户一致;③准备模型的文档。

2.1.3 模型运行阶段 ①仿真时间长度适当;②统计之前将不稳定数据去掉;③彻底检验模型程序正确性;④使用结果之前,确定模型的合法性;⑤如果结果出乎预料,验证模型合法性;⑥多随机数流不要选择相同的初始值。

2.2 仿真语言

选择适当的仿真语言是开发模型中的最重要一步。有 4 种选择,每一种选择各有其优缺点。

2.2.1 仿真语言 能节省分析者开发一个仿真系统的大量时间。典型仿真语言有 SIMULA, SIMSCRIPTDENG 等。这些语言已经建立了用于时间前进(time advancing)、事件调度、实体管理、随机变量生成的功能、统计数据收集及报表生成等功能,它使得分析者能花更多时间在被研究的系统上,但选择仿真语言需要分析者花时间去学习和安装。

2.2.2 通用语言 例如 C, Fortran, Pascal 等。选择通用语言往往是因为分析者熟悉它。

2.2.3 通用语言的扩展 例如 GRSP(Fortran 语言的一个扩展),它扩展了一组用于管理在仿真中常用任务的子程序。

2.2.4 仿真包 例如 QNET4 和 RESQ,容许用户使用一个对话去定义一个模型。仿真包有一个数据

结构、子程序和算法库。其最大好处是节省时间。

2.3 仿真类型

常用的仿真类型包括 4 种。

2.3.1 仿真(emulation) 选取一个物理或抽象系统的某些行为特征,用另一个系统来表示它们的过程。一般使用硬件或固件进行仿真。

2.3.2 Monte Carlo 仿真 一个静态仿真或没有时间轴的仿真。这种仿真用于与时间无关的概率现象特点。

2.3.3 踪迹驱动(trace-driven)仿真 使用一个踪迹作为输入去驱动仿真过程。一个踪迹是一个实际系统上按时间记录的事件序列,这是计算机系统性能仿真常用的方法,主要用于分析资源管理算法。

2.3.4 离散事件仿真 当仿真使用系统离散状态模型时称为离散事件仿真。这与连续事件仿正好相反。在连续事件仿真中,系统状态取连续的值,所有的离散事件仿真都有一些共同的组成。例如事件调度、仿真时钟及时间设施、系统状态变量、事件程序、输入程序、报告生成系统等。如果使用仿真语言,这些功能由语言提供,而如果是通用语言则要分析者自己去开发。

3 仿真结果分析

在开发仿真模型时,必须保证模型被正确地实现,并且反映了实际系统。由于在开发模型时对实际系统作了一些假设,在检验一个模型的好坏时要确认假设是否合理(validation)及检验这些假设是否正确实现(verification)。确认关心的是假设的是否正确,而检验关心的是假设的正确实现,它也叫模型的调试,从而保证模型真正实现了想要做的事情。

3.1 模型验证技术

模型验证技术有:①采用自顶向下模块设计,仿真模型常常是大型软件,而模块化和自顶向下设计是大型软件设计中两个重要技术;②检查病毒,通过增加检测点和输出来帮助发现病毒;③通读程序,通过对程序的逐条阅读帮助发现病毒;④确定性的模型,确定性的程序比一个有随机变量的程序更易调试。试着由用户将输入分布确定来观察输出变量,并进行调试;⑤运行简化情况,看系统的表现;⑥运行状况跟踪;⑦在线图形显示;⑧连续测试,将输入参数作小的改变,然后进行多次的仿真,对任何一个输入参数小的变化,应该产生一个小的输出变化;如果输出变化很大,则应该进行着重分析;⑨退化检测,

将模型工作在系统、配置、负载等的极值状态看测试结果:①一致性检测,输入参数值的改变应该在输出有类似的改变;②种子独立,用于产生随机数的种子不应该影响仿真的最后结果。因此,不同的种子值要能产生类似的仿真结果。试着采用不同种子进行多次仿真,看其结果。

3.2 模型确认技术

确认技术依赖于对被模型化的系统上所作的假设,与验证技术具有通用性这一点不同,确认技术对不同仿真模型可能有所不同。

确认包括验证模型的3个方面:①假设的制定;②输入参数值及其分布;③输出值和结论。而对每一方面的验证又可以从3个方面进行:①专家的直觉;②实际系统的测量;③理论分析的结果。

结合这两个方面对一个模型进行正确性确认。

4 随机变量生成

仿真过程中很重要的一步是有一个给指定分布的随机变量产生随机数的程序。可以分为两步来实现,首先获得在0,1间均匀分布的随机数,然后将这一序列转换成具有所希望分布特性的随机变量。

4.1 随机数生成

随机数生成器应该具有以下特点:

1) 易于计算,因为仿真在一次运行时需要几千个随机数,处理机生成随机数的时间应该尽量的小。

2) 随机数周期应该大,小的周期导致随机数序列循环,从而形成重复事件序列,这将限制仿真运行的有效长度。

3) 后继值应该独立并且均匀分布。

主要的随机数生成方法有^[3]:①线性同余法, $x_n = a x_{n-1} + b \text{ mod } m$ 根据 m 及 b 的取值,可以有不同的形式;②模2线性递推序列 $b_n = c_q b_{n-1} + c_{q-1} b_{n-2} + \dots + c_1 b_{n-q}$, c_i 和 b_i 是具有0,1取值的变量, $+$ 是异或运算,它用后 q 位去生成序列;③扩展 Fibonacci 法 $x = x_{n-1} + x_{n-2} \text{ mod } m$;④组合法,利用上面方法进行组合,形成一个混合多种方法的生成器。

4.2 随机数分布均匀性检验

使用仿真的分析人员应该保证模型中使用的随机数生成器产生了充分的随机数列。测试随机数或随机变量生成算法的首要一步是绘图,看其直方图及累积频率分布。第二步是使用尽可能多的测试方法去测试。主要的测试方法有 K^2 测试、线性相关性

测试、两层测试、连续(serial)测试等。

4.3 随机变量的生成

有了均匀分布的随机数,现在需要有将其转换为不均匀的(符合某种分布规律)的随机变量。每种转换方法只适用某种分布。同时,对某种特殊分布,一种方法可能比其他方法更有效。主要的方法有逆反转换、舍选(rejection)法、复合法、卷积(convolution)法等。

5 数据库性能分析

在此利用仿真技术对 FoxPro 数据库系统性能进行仿真分析。

数据库系统的主要服务是数据查询。随着数据库数据的增多,其一次查询时间(不论是否查询到数据记录)及平均吞吐量是不同的。在采用集中式数据库管理系统时应该考虑不同数据库管理系统在给定机器和操作系统平台下的性能,从而决定数据库大小、机器档次及系统体系结构(集中式、分布式或并行处理)。

5.1 仿真系统及仿真目标

数据库查询有两种方法,一是根据关键字可以直接转换为记录号,即 $recno = f(\text{key})$ 。因此可以一次定位,找到记录,这种方法高效,但实际应用时,数据记录的关键字往往并不连续;同时对排序文件进行插入时,需要作大量磁盘数据移动。另一种是根据给定的关键字通过比较的方法查找记录,关键字并不能反映出记录号。在这种情况下,随着库的增大,查询时间变长

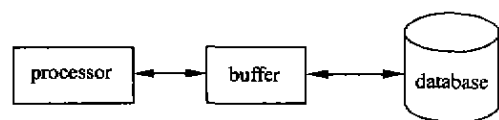


图1 数据库系统结构

Tab.1 The structure of database system

数据库数据读入内存数据缓冲区,由处理机将指定 key 与读入内存数据进行比较,如果查找成功则移动记录指针,返回结果,否则继续从磁盘读入下一组数据,直至找到或到文件结尾。本仿真系统的目标是确定在给定机器情况下,看内存磁盘缓存大小(buf)、数据库长度(len)对系统查找时间的影响及数据库系统的平均吞吐量。

5.2 影响性能的因素及评估指标

缓存的大小、数据库长度、I/O 通道带宽、内存

带宽,成为影响数据库性能的因素。在此,由于是基于同一系统及数据库平台,因此只考虑缓存及数据库文件长度两个因素。平均响应时间及平均吞吐量作为性能指标。

5.3 仿真语言及随机数(工作负载)生成

使用数据库语言(FoxPro)^[4]。随机数生成器使用线性同余算法

$$r_n = (9\ 806x_{n-1} + 1) \bmod (2^{31} - 1) = (9\ 806x_{n-1} + 1) \bmod 131\ 071。$$

其分布的均匀性采用 K^2 方法检测。当 $X_0 = 1$

时,能产生分布均匀且其周期为 131 071 的随机数。

5.4 仿真结果及结论

采用 celeron 433MH-16M-1.2G/HP 个人计算机,基于 Windows 下的 FoxPro 平台。

仿真实现包括:①随机数的生成;②生成不同长度的数据库文件,用于以后的响应时间测试;③生成 3 组 workload,用于在相同数据库文件、相同负载,不同 buffer 情况下进行测试。

仿真结果如下:

FoxPro 数据库系统性能仿真数据

	file length=10 ³ workload=10 ³	file length=10 ⁴ workload=10 ⁴	file length=10 ⁵ workload=10 ⁵
no buffer	time=3 s throughput=334 r/s	time=270 s throughput=370 r/s	time=273 s throughput=3.6 r/s
buffer=8 kb	time=3 s throughput=334 r/s	time=270 s throughput=370 r/s	time=274 s throughput=3.5 r/s
buffer=64 kb	time=273 s throughput=3.34 r/s	time=272 s throughput=334 r/s	time=273 s throughput=3.6 r/s

注:workload 是指需要查询的记录个数,time 是查询相应记录数所需时间,throughput 是平均吞吐量,其单位是每秒查询记录数(r/s)。

根据以上数据可以看出,在记录数较小时,查找速度与数据库记录个数关系不大,因此在开发数据库应用系统时可以直接采用按时间顺序生成的顺序文件进行,不必进行过多的排序、索引等。但是,如果

文件长度较大时,其比较查找方法的查询速度太慢,需要采用其他形式来组织和实现数据库应用系统,而磁盘缓冲区的大小对响应时间的影响不大。

参考文献:

- [1] RAJ J. The art of computer system performance analysis[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1991.
- [2] 韩慧君. 系统仿真[M]. 北京:国防工业出版社, 1995.
- [3] 王惠刚. 计算机仿真原理应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 2000.
- [4] 李大学,张义兰. Foxpro 数据库及其程序设计[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1997.

(编辑 曹大刚)

The method of computer system performance simulation

ZHANG Ai-li, LAN Rong

(School of Economics and Finance, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The technologies and methods of computer system performance evaluation have been summarized, especially the using of simulation. As an example, database system's performance has been tested and analyzed.

Key words: performance evaluation; simulation; random-number