

基于参数化模型的设计计算服务

张明喜 左兵权 吴紫俊 黄正东

(华中科技大学国家CAD支撑软件工程技术研究中心 武汉 430074)

摘要 针对工程设计中设计者需要学会操作过多的仿真分析软件并需要在具备其它学科专业知识的基础上为设计对象建模的问题,提出了一种让设计者借助网络服务平台完成工程设计计算任务的方法。设计者可以通过服务平台,选择由外部其他专业人员已构建好的参数化设计计算模型,在适当地进行远程外部定制函数链接和模型参数在线设置之后,即时获得服务器远程计算后的仿真计算结果。上述思想方法通过开发计算服务平台提供发动机设计仿真分析服务得到了验证。结果表明,这种服务平台可以为机械领域设计者进行诸多仿真计算工作,大大减轻了设计者的建模工作量,提高了设计工作效率,同时避免了因专业知识不够而无法正确建模的问题。

关键词 计算服务平台,远程计算,模型重用,网络服务平台

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.1.004

Computational Services for Engineering Design Based on Parametric Models

ZHANG Ming-xi ZUO Bing-quan WU Zi-jun HUANG Zheng-dong

(National Engineering Research Center of CAD Information Technology, Huazhong

University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract In engineering design, designers need to learn a lot of simulation analysis software and must have special knowledge of other disciplines. To reduce the designer's burden from modeling, we developed a network service platform that can help designers to complete the computation task for engineering design. On the Web-based service platform, designers can choose a parametric design model constructed by other professionals, customize the external function connections, input model parameters, and view the visualized simulation results of remote computation in servers. The platform has been applied to the modeling and simulation of engine thermal and dynamical processes. The results show that the service platform can do a lot of simulation work for designers in this field, greatly reducing the modeling workload and improving the design efficiency. Meanwhile, the problem that designers have difficulty for constructing the correct model due to lack of sufficient expertise can be avoided.

Keywords Computational service platform, Remote computation, Model reusing, Network service platform

1 引言

在诸如汽车发动机之类复杂机械系统的设计中涉及到不同学科知识,它们相互之间关联复杂;在对其进行仿真建模中需要会操作多种类型的仿真分析软件,并需要掌握其它学科的专业知识基础。具备一定资源和人才条件的大型企业也许可以独立完成复杂系统设计计算工作;但一些中小型企业一般很难独立完成复杂的设计计算任务。在市场经济下,企业变更产品设计是不可避免的;在此情况下,中小型企业有必要借助外部资源的帮助,完成其产品设计仿真计算工作^[1]。

中小型企业的发展需求促进了近年来基于外部资源的协同设计计算的发展^[2]。由于外部资源一般不在企业所在地,需要通过网络形式进行外部资源连接,这促使基于网络的计算服务方式的兴起^[3,4]。文献[5-8]提出了一种基于 FIPER

(分布式多学科计算服务平台)的计算服务方式,FIPER 主要采用 C/S 模式,它先在 FIPER 服务器端集成服务提供者发布的服务;然后,服务需求者需要在注册以后,通过 FIPER 客户端查找服务器中相应的服务进行调用使用。但这种服务方式要求服务需求者在使用时必须具备一定编程知识来编写接口程序以及创建流程图,并且它的服务使用费用比较高。文献[9-11]提出一种基于 MODELCENTER(优化计算服务软件)的计算服务方式,MODELCENTER 也主要采用 C/S 模式,它在服务器端集成各种仿真分析软件,需求者注册后可以在客户端建立模型组件流程图,提交后由服务器端进行计算求解,并返回结果;相对来说,它使用户对仿真软件的操作更简便,但仍然要求用户维护不同仿真分析软件的接口,同时它的软件使用费用也比较高。文献[12,13]提出一种基于 Web 的计算服务平台,来对特定系统设计和机械零部件设计提供计算

到稿日期:2014-01-03 返修日期:2014-04-21 本文受国家自然科学基金项目(61173115,50935004)资助。

张明喜(1989-),男,硕士生,主要研究方向为计算机辅助设计、机械系统建模与仿真,E-mail:zmx984066034@163.com;左兵权(1985-),男,硕士生,主要研究方向为计算机辅助设计及分析;吴紫俊(1985-),男,博士生,主要研究方向为计算机辅助工程;黄正东(1961-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机辅助设计、工程优化设计、计算机辅助工艺、计算机图形学,E-mail:zdhuang@hust.edu.cn(通信作者)。

服务;但它不支持与外部定制函数链接,只是简单地返回计算结果,无可可视化的结果显示,也不具备相应的扩展能力。

因此,关于计算服务方向的研究仍然很有意义。本文提出了一种让设计者借助网络服务平台完成工程设计计算任务的思想,设计者可以通过服务平台,选择由外部其他专业人员已构建好的参数化设计计算模型,通过适当的远程外部定制函数链接和模型参数在线输入设置,服务器在远程进行计算后即可向设计者传送仿真计算结果,并且支持可视化的结果显示。上述思想方法通过利用开发计算服务平台提供发动机设计仿真分析服务得到了验证。

2 可定制的参数化分析模型

在工程设计中,系统设计模型的建立速度决定着整个产品的开发效率;在系统设计初期,设计者对系统特性认识还有一定的模糊性,具体特性需要根据实际测试后才能够确定,这就要求系统设计模型具有重用性和易于修改的特点。因此,为了节省设计者的时间和提供良好的计算服务,服务器端存储的系统设计模型采用参数化建模方法。对于中小型企业来说,它们希望通过将外部系统设计模块与企业内部系统设计模块链接起来共同组成整个系统设计模型的方式进行建模;这样不仅减少了企业使用外部服务费用,也加快了企业产品开发效率。所以,本文所介绍的系统设计模型是一种可定制的参数化分析模型,它的建模过程主要涉及到参数重置、数据文件导入、外部函数定制3个方面。

1) 参数重置

在系统模型表达方面,计算服务平台采用支持多领域物理系统统一建模的MODELICA语言。MODELICA语言具有面向对象和基于方程的特点,使得用数学公式表示的物理原理知识可以方便地得以描述,同时它具有可扩展的结构化属性以及成熟的语言编译求解系统。模型参数变化可以通过计算服务平台在线输入进行重置,并且可以利用模型参数建立常微分方程求得系统状态变量。

2) 数据文件导入

在系统建模中,某些模型变量往往不能通过函数计算的方式获得,需要通过实验或其它软件分析计算才能得到,它们通常是以数据文件的形式记录。这样,在对模型仿真分析计算时,系统设计模型计算程序需具有读取这些数据文件的能力。在实际仿真分析计算时,针对某些模型变量,通过读取上传数据文件中系列数值,使得模型计算可以顺利进行。

这里数据文件导入与一般联合仿真分析软件中的数据传输文件有所不同,它只是提供某些特定模型变量参数值的文件,这些文件通常数据量大、难以人工交互输入,一般具有固定的格式并且是在模型运行之前一次性上传。

3) 外部函数定制

对于有些系统设计模型,它们的一些模型变量需要依据用户自身的经验公式或具体设计对象的特殊数学描述进行计算;此时,需要计算服务平台提供开放的外部函数接口。这里,计算服务器中系统设计模型支持与外部定制函数的链接,通过远程调用外部定制函数的方式得到模型变量值;外部定制函数可以由企业设计人员或者第三方计算服务提供者建立。

通过上述3个方面,企业设计人员就可以建立满足需求

的系统设计模型。这种建模方法使企业在有效利用外部资源的条件下,快速建立所需的系统模型。

3 计算服务平台

3.1 计算服务平台架构

计算服务理念主要是为企业提供所需的系统设计模型资源,并进行仿真分析计算服务,帮助企业完成产品系统设计模型构建。为了提供优质的计算服务,需要设计构建一个好的计算服务平台来使计算机之间协同工作,使得服务资源能够有效利用、企业建模问题得到解决。为了满足使用要求,作者开发的计算服务平台包括B/S和C/S两种模式。在B/S模式下,服务需求者在本地浏览器上直接输入访问入口地址URL,按照提示操作即可获得可视化的计算参数曲线。如果需要更详细的结果数据或需要反复计算,可以使用C/S模式。在C/S模式下,服务接受者提前申请计算资源,在获取授权之后,参照各模型使用说明,通过远程API调用来获取服务。以下对B/S和C/S两种模式的架构分别进行介绍。

在B/S模式下,服务接受者通过本机浏览器请求计算服务,在服务界面对服务器端系统设计模型进行操作,包括参数设置、数据文件上传和外部函数链接;然后进行仿真分析,查看仿真结果。如果结果不满足要求,可以对模型参数进行重置,重新进行仿真分析。B/S模式架构设计为3层(如图1所示):第一层是客户端浏览器,通过Internet以HTTP的形式访问服务模型,编辑各项参数输入值,完成系统模型参数重置,并在最后显示仿真分析计算结果。第二层是中心网络服务器,计算服务平台通过中心网络服务器提供一般性的网络服务,连接用户与服务器;同时也作为服务程序的载体,为其提供运行环境。第三层是模型服务器,负责对模型的管理和维护。

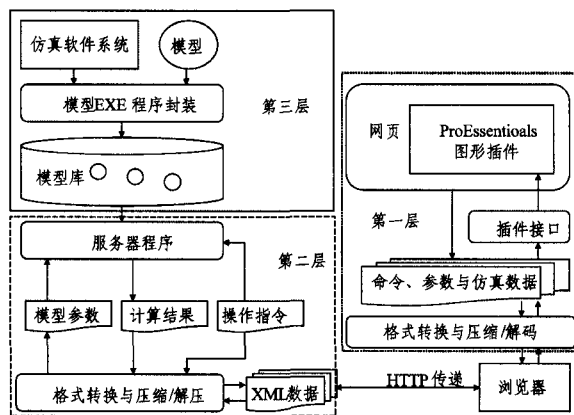


图1 基于B/S模式计算服务架构

在C/S模式下,服务接受者通过本机客户端程序请求计算服务,客户端程序通过调用服务端程序对服务器端模型进行操作,然后进行仿真分析,获得仿真结果数据;如果结果不满足要求,同样可以通过模型参数重置,反复进行计算。本计算服务平台的C/S模式通过3个层次的程序实现(如图2所示):第一层是客户端程序,通过设置编程使用框架、数据交互接口、远程连接服务器并配置连接参数,服务接受者就可以选择服务模型并输入模型各项参数,计算后获得仿真分析计算结果。第二层是服务器端程序,主要是设置与客户端的数据

交互接口,配置连接参数,连接用户与服务器。第三层是模型服务器,负责对模型的管理和维护。

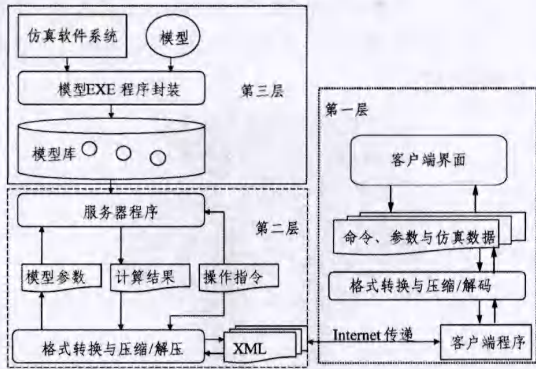


图2 基于C/S模式计算服务架构

3.2 计算服务平台关键技术

由于计算服务平台主要通过网络提供远程服务,必须采用高效、安全的网络开发技术进行计算服务平台的开发。根据B/S模式计算服务架构特点,其主要功能实现部分涉及到客户端浏览器和中心网络服务器的开发。对于客户端浏览器开发,采用ASP语言编写的客户端脚本程序能够很好地嵌入到页面HTML程序里;当请求服务页面时,它会自动加载到浏览器端页面执行。对于中心网络服务器开发,主要采用HTML、ASP、C#语言,使用它们混合编写的服务器端程序,可以很好地发布网络服务,同时实现服务接受者与模型服务器的连接。为了保证计算服务平台的安全性,浏览器在客户端首次调用服务程序时必须利用已给的用户名与密码向中心网络服务器对其申请计算资源,然后中心网络服务器对其进行授权验证(包括用户名密码匹配验证和对应模型使用权限验证),验证通过后会生成一个包含用户ID和使用时间的唯一加密字符串并返回给客户端,在以后每次的交互过程中都会使用此字符串进行授权验证(请求来源验证和使用时长验证),这样可有效地减小中心网络服务器受网络攻击的可能性和提高服务器运行的可靠性和稳定性。根据C/S模式计算服务架构特点,主要功能实现部分涉及到客户端和服务端程序,客户端程序一般由服务需求者编写,在此不过多讨论;对于服务端程序选择C#语言进行编写,它编写的服务器端程序能够很好地与模型数据库连接,同时也支持远程调用协议动态链接库嵌入使用,实现服务端程序所需功能。

对于B/S模式计算服务,其客户端服务页面可视化图形显示功能是通过调用ProEssentials插件实现的;将ProEssentials插件安装到电脑磁盘后,在客户端脚本程序里声明并加载其实现代码,当服务需求者请求服务界面时,会自动加载到浏览器中,实现仿真结果图形可视化的显示功能。

对于计算服务平台,其需要具有调用外部定制函数的能力,这样才能建立起完整的定制参数化分析模型。为了能够完成模型建模,同时保证外部定制函数提供者利益,外部定制函数与服务器端模型程序之间的链接通过采用Socket通讯方式实现,利用这种通讯方式,只需传递本地程序计算的参数结果,不需要清楚具体的计算过程,使服务器或外部定制函数只接受所需的模型变量数值,其具体服务端和客户端利用Socket通讯框架,如图3所示。

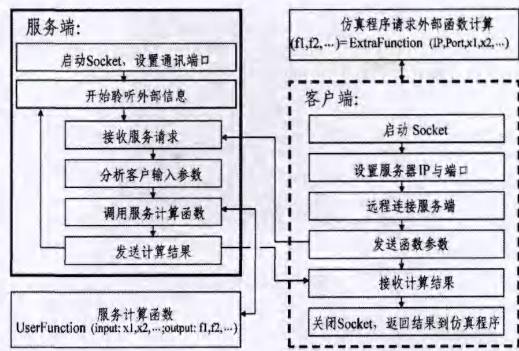


图3 服务端与客户端应用Socket通讯框架

4 实例验证

在主频为3.10GHz、内存为4G的PC机上,完成了计算服务平台B/S和C/S两种模式的开发和模型数据库的构建,同时在模型数据库中存储了一些工程专业设计人员建立的有关发动机领域的复杂系统设计模型,使计算服务平台为发动机设计进行仿真计算服务,模型数据库存储模型主要有单缸汽油机、单缸柴油机、四缸汽油机、四缸柴油机、六缸汽油机、六缸柴油机、八缸柴油机、发动机活塞侧动、摆动、润滑模型;目前,模型库中存储的模型是免费提供给用户使用的,不收取服务使用费,相应的用户名和密码已经在计算服务平台上公开。接下来以单缸发动机和活塞润滑系统模型设计为例进行实例验证。

4.1 单缸发动机系统模型设计

单缸汽油机模型用来模拟单缸汽油发动机的工作过程,计算发动机在不同阶段(压缩阶段、燃烧阶段、膨胀阶段、单纯排气阶段、进排气重叠阶段、单纯进气阶段)气缸内工质的温度、压力和质量等参数。

服务需求者通过接入Internet客户机进入模型计算服务界面,在服务界面左边是模型列表,服务需求者可以选择自己需要的模型;选择单缸汽油机模型,服务界面就会进入单缸汽油机模型服务界面,在服务界面点击模型使用说明按钮就会打开在线使用帮助文档,其可帮助用户了解模型参数意义和建模方法。服务需求者在模型服务界面可以重置模型参数(如图4所示),完成模型参数编辑后,点击服务界面上的提交按钮,服务端便进行仿真分析计算,并把模型仿真分析计算结果反馈到服务界面,服务需求者可以选择模型参数来看其可视化参数曲线(如图5所示)。如果模型分析结果不满足要求,服务需求者可以修改模型参数,继续进行仿真分析,直至获得符合要求的仿真分析结果,完成系统模型设计工作。

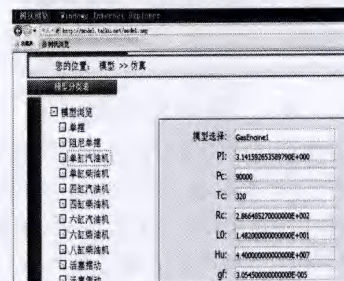


图4 单缸汽油机模型服务界面

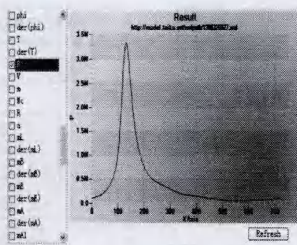


图5 单缸汽油机模型参数曲线

4.2 活塞润滑系统模型设计

活塞润滑模型用来模拟活塞在缸套约束下的工作过程,该模型在考虑连杆和曲柄运动、活塞横向摆动、侧动,以及活塞与缸套之间的流体润滑的基础上,进行活塞动力学分析。该模型是在活塞动力学分析的基础上,进一步使用雷诺方程计算活塞与缸套之间的油膜压力与摩擦力的情况下完成建模的。

服务需求者在模型计算服务界面选择活塞润滑模型,进入活塞润滑模型服务界面,通过使用在线帮助文档了解模型参数意义和建模方法。服务需求者在模型服务界面上可以修改模型参数(如图6所示),其中模型参数IP1、IP2、IP3、IP4、Port是运行外部定制函数的计算机IP地址和端口,其功能是实现服务器与外部定制函数的链接通信,对于模型变量Qt通过导入数据文件进行赋值,当完成模型参数编辑后,点击服务界面上的提交表单按钮,服务端便进行仿真分析计算,并把模型仿真分析计算结果反馈到服务界面,服务需求者可以选择模型参数来查看其参数曲线(如图7所示)。如果模型分析结果不满足需求,可以修改模型参数,重新进行仿真分析计算。

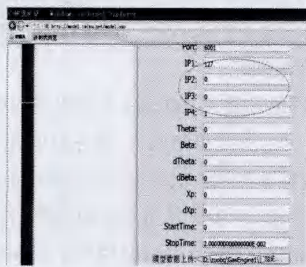


图6 活塞润滑模型服务界面

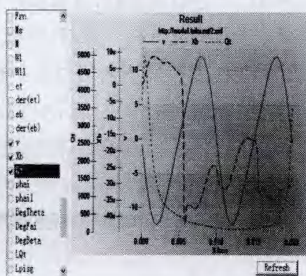


图7 活塞润滑模型参数曲线

对于C/S模式计算服务平台调用,本文以摆钟例子进行说明。作者设计一个摆钟,在UG系统里已经建立摆钟的参数化几何模型,但不知摆长尺寸L为多少才能保证周期为1s。这里作者调用C/S模式远程计算服务器,在CAD系统菜单项中点击加载的单摆菜单项,就会调用服务器端的单摆模型函数,以获得单摆摆长,并利用本地客户端程序对获得的单

摆摆长进行计算求得摆动周期,当不满足所设定的周期时,就会迭代进行计算,直到求得满足摆动周期的摆长,最后更新三维CAD系统中的单摆模型(如图8所示);从更新后的三维摆钟CAD模型可知摆长已经发生变化,说明C/S模式计算服务平台使用成功。

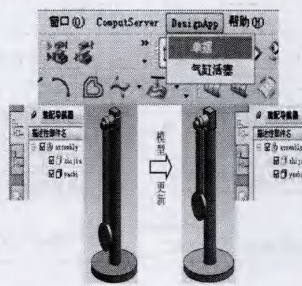


图8 摆钟三维CAD模型

在此说明,客户端程序并不限定用C#语言编写,服务需求者可以选择自己熟练的编程语言编写客户端程序,如C++、Fortran等语言编写的客户端程序都可以实现与服务器端程序的链接。为了说明可以使用C/S模式计算服务平台方式设计单摆,我们采用了作者熟悉的C#程序来编写客户端程序。

结束语 本文通过构建的计算服务平台,以单缸发动机和活塞润滑系统模型设计为例,验证了通过网络服务平台完成工程设计计算任务思想的可能性和实用性。结果表明,以计算服务方式进行工程设计计算可以很好地帮助中小型企业资源有限的情况下完成产品复杂系统设计计算建模,加快完成产品设计工作;同时这种思想也极大地提高了专业知识利用率,促进了知识的服务性流动。

与此同时,作者也注意到一些局限性,现有计算服务平台在网络上不易过多进行人机交互和调试,而且对于规模较大的复杂工程系统设计模型,仿真分析计算时间较长;如何改进计算服务平台,提高网络环境下服务平台使用的稳定性和减少模型仿真分析计算时间,将是今后研究的重点。

参考文献

- [1] Ma Jun, Qi Guo-ning, Gu Xin-jian, et al. Research on Networked Integrated Architecture for Parts Library Resource and Its key technologies[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007,43(8):91-96
- [2] Ma J, Hao L, Xiao Y, et al. Research on reconfigurable collaborative design service model and its application[C]//2010 The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering (ICIME), 2010;645-649
- [3] Senin N, Wallace D R, Borland N. Distributed Object-Based Modeling in Design Simulation Marketplace[J]. Journal of Mechanical Design, 2003,125(1):2-13
- [4] Sobolewski M, Kolonay R. Service-Oriented Programming for Design Space Exploration[M]// Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment. Springer London, 2013;995-1007
- [5] Zhao S, Sobolewski M. Context model sharing in the FIPER environment[C]//Proc. of the 8th Int. Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications. Anaheim, CA, 2001

(下转第49页)

法。

• 每层的平均延迟时间 O_{jk}^j 。将在下面给出其计算方法。

法。

可以建立一个如式(3)所示的 CPU 消耗与负载向量间的关系函数。

$$C_m = a_0 + a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2 + \dots + a_n \lambda_n + \gamma_1 \lambda_1^2 + \gamma_2 \lambda_2^2 + \dots + \gamma_n \lambda_n^2 \quad (3)$$

根据式(3),CPU 消耗与请求负载向量 $\lambda^T = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T$ 间存在非线性关系。这样,可以利用非线性回归分析方法对式(3)中的系数进行求解。限于篇幅,本文将不在此进行讨论。

记要建模的虚拟机为 k ,本文将建立当前虚拟机 CPU 利用率 $CPUu_k$ 、背景虚拟机 CPU 利用率 $CPUu_b$ 、当前虚拟机读请求数 ior_k 、当前虚拟机写请求数 $iorw_k$ 、背景虚拟机读请求数 ior_b 和背景虚拟机写请求数 $iorw_b$ 与响应时间延迟 o 之间的关系,如式(4)所示。

$$o = a_0 + a_1 \times CPUu_k + a_2 \times CPUu_b + a_3 \times ior_k + a_4 \times iorw_k + a_5 \times ior_b + a_6 \times iorw_b \quad (4)$$

利用线性回归方法对系数 a_0, a_1, \dots, a_6 求解的基本思想是:求解系数 a_0, a_1, \dots, a_6 ,使得在该系数下,估计值 o' 与实际观测值 o 的残差平方和最小。在求得系数 a_0, a_1, \dots, a_6 后,可以利用式(4)对由虚拟机间性能互扰所导致的平均请求延迟时间进行估计。进而,能够根据式(2)对多层 Web 应用端到端响应时间进行计算。

3 实验对比

本节将给出对虚拟服务器环境下的多层 Web 应用端到端平均响应时间进行估计的实验结果。在实验中,Rubis 的 apache 端包含 2 台虚拟服务器,database 端包含 1 台虚拟服务器。每台虚拟服务器的配置相同。

利用本文所提出的考虑虚拟机性能互扰的多层 Web 应用端到端响应时间估计方法对多层 Web 应用响应时间进行计算,比较端到端响应时间估计值与实际值间的差异。实验中,database 端最大并发数限制设置为 30,apache 端最大并发

数限制设置为 100。在请求到达率大小一定时,在请求事务类型混合比例不同的情况下分别进行 20 次实验,取响应时间的平均值。实验结果如图 2 所示。

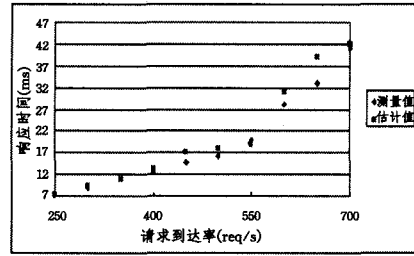


图 2 虚拟服务器环境下多层 Web 应用响应时间估计对比

图 2 说明了在大多数情况下利用本文方法估计得到的响应时间与实际测量值相比误差并不大。

结束语 本文建立了一个基于排队网的多层 Web 应用性能分析模型,给出了多层 Web 应用端到端响应时间计算公式,并给出了请求丢弃率估计算法、不考虑虚拟机间性能互扰的多层 Web 应用端到端响应时间计算方法以及考虑虚拟机间性能互扰的多层 Web 应用端到端响应时间计算方法。实验验证了本文所提出的多层 Web 应用性能分析模型的有效性。

参考文献

[1] Cook B, Babu S, Candea G, et al. Toward Self-Healing Multitier Services[C]// ICDE Workshops (SMDB 2007). Washington, 2007:424-432

[2] Zhang Qi, Cherkasova L, Smirni E. A Regression-Based Analytic Model for Dynamic Resource Provisioning of Multi-Tier Applications[C]// ICAC'07. 2007:27-37

[3] Shoaib Y, Das O. Web application performance modeling using layered queueing networks[J]. Electronic notes in theoretical computer science, 2011, 275:123-142

[4] Lazowska E D, Zahojan J, Graham G S. Quantitative System Performance: Computer System Analysis using Queueing Network Models[M]. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1984

(上接第 22 页)

[6] Zhang J, Tao Y. The Interaction based Innovation Process of Architectural Design Service[C]// IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2007:1719-1723

[7] Bailey M W, VerDuin W H. FIPER: an intelligent system for the optimal design of highly engineered products[C]// Measuring Performance and Intelligence of Intelligent Systems. 2001:467-477

[8] Goel S, Talya S, Sobolewski M. Preliminary Design Using Distributed Service-based Computing[C]// Proceeding of the 12th Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications. ISPE, Inc., 2005:113-120

[9] Chen C H. Constructing intelligent design platform for co-design novel interior design service[C]// 2013 Fifth International Conference on Service Science and Innovation (ICSSI). IEEE, 2013: 50-53

[10] Cornford S, Cole B, Dubos G, et al. Evaluating fractionated space systems-Status[C]// Aerospace Conference 2013. IEEE, 2013:1-10

[11] 马继楠, 刘莉, 龙腾. 基于 MODELCENTER 的 EPUAV 系统模型建立与参数优化[J]. 系统仿真学报, 2009, 16:5203-5206

[12] 张晓丽, 迟国政, 朱鸣华, 等. 基于 Web 的工程计算平台研究[J]. 大连理工大学学报, 2004(2):259-261

[13] 刘向锋, 胡荣, 高志. 基于 Web 环境的机械设计的异地协同设计[J]. 机械设计, 2002(12):23-25

[14] Sobolewski M, Kolonay R. Unified Mogramming with Var-Oriented Modeling and Exertion-Oriented Prgramming Languages [J]. International Journal of Communications, Network and System Sciences, 2012(5):579-592