

云构架下起重机参数化协同设计系统^①

赵 健¹, 王宗彦^{1,2}, 张 亮²

¹(中北大学 机械工程与自动化学院, 太原 030051)

²(中国兵器工业集团 内蒙古北方重工业集团有限公司, 包头 014030)

摘 要: 针对起重机设计过程中信息共享程度低、快速响应市场能力差、重复劳动多的问题, 分析了现有网络化协同设计的诸多不足, 提出了一种网络化设计新模式——云设计。在深入研究信息共享机制、云计算、云构架的基础上, 构建了起重机云设计平台; 结合起重机结构型式固化程度高的特点, 将参数化变型设计和云构架下的协同设计有机地结合起来, 开发了云构架下的起重机参数化协同设计系统, 并以铸造起重机小车架端梁设计为例进行了验证。

关键词: 云设计; 网络化协同设计; 参数化变型设计; 起重机

Crane Parameter Collaborative Design System Based on Cloud Infrastructure

ZHAO Jian¹, WANG Zong-Yan^{1,2}, ZHANG Liang²

¹(College of Mechanical Engineering and Automation, North University of China, Taiyuan 030051, China)

²(China Weapons Industries Group Inner Mongolia North Heavy Industry Group Co. Ltd, Baotou 014030, China)

Abstract: To solve the problem of lower degree of information sharing, the slower responding market ability and the more duplicate work in the process for crane design. The shortcomings of the existing network collaborative design were analyzed, a new network design model--cloud design had been raised. The information sharing mechanism, cloud computing, cloud infrastructure was researched thoroughly. Based on it, the crane cloud design platform was constructed. Because of the characteristic that the crane has a higher structure type degree, parametric variant design and cloud design were combined organically, developed Crane parameter collaborative design system based on Cloud Infrastructure, and took a girder design of casting crane car frame as an example to verify it.

Key words: cloud design; collaborative design; parametric variant design; crane

起重机设计一般采用客户订单的方式, 订单的个性化和多样化要求企业必须能够快速响应客户要求并高效的完成设计任务。随着 CAD 技术的发展, 在提高快速响应市场能力方面, 先进的配置设计技术、变型设计技术已在起重机设计上得到了很好的应用, 但这些技术仅仅在局部范围内改善了企业的工作效率, 并不能从根本上改变传统的串行设计模式, 企业必须重新考虑其产品开发流程, 才能稳固自身的市场地位。

目前, 大型起重机制造企业的产品设计研发已从在企业内部进行向与供应商、协作企业协同完成转变, 高等院校以及科研机构的大量智力、技术资源的利用

率较低, 多学科、多领域的并行协同工作也已成为趋势, 支持协同设计的服务平台成为整机厂与配套厂的共性需求。近几年来, 一种全新的网络服务方式——云计算已经兴起, 云计算的主导思想是将个人计算机或服务器上的数据处理过程转移到互联网中由成千上万台普通工业标准服务器组成的超级计算群上, 以获得高速的数据处理能力, 实现按需计算和多人协作^[1]。本文结合工程实例, 利用云计算强大的数据处理能力及能够即时、快速的响应用户的优势, 采用先进的参数化变型设计技术, 搭建了一种云构架下面向起重机行业的协同设计平台。

^① 收稿时间:2012-07-02;收到修改稿时间:2012-08-27

1 云设计

1.1 网络环境下的分布式协同设计技术

网络环境下的分布式协同设计技术是指在分布在不同领域、不同级别的产品设计人员以及产品设计过程中的相关人员,在基于计算机的虚拟协作环境中,运用多种计算机辅助工具和先进的设计技术,围绕同一个产品设计任务,并行、交互、协作地进行设计活动的一种设计方法^[2-5]。

网络化协同设计已经成为当前机械产品设计领域的研究热点,国内外学者大部分是从某一特定角度出发,针对工程实际应用中存在的问题和新产品开发的需要,对网络化协同设计技术进行了研究,并结合一些先进的设计技术,提出了不少新技术和新方法应用于新产品的开发中。于加晴等^[6,7]结合多学科协同设计优化理论,研究开发了一个基于 SORCER 信息模型的面向复杂产品的协同设计系统,并提出了异地协同复杂产品设计的决策问题分析流程及其策略。N Shyamsundar 等^[8-10]分析了敏捷制造企业按照需求驱动生产的协同设计信息模型,为实现按客户需求的个性化定制设计,提出了基于 Internet 环境下具有集成特色和虚拟设计空间的产品协同设计方法。科尼起重机公司起重机在线定制系统根据客户定制的详细参数,对起重机的结构形式、起升高度、跨度、起重吨位、厂房高度等技术参数进行定制,快速设计出满足客户需求的起重机。但由于设计资源的集中化管理不够、运营方式不完善,设计资源提供者(Design Resources Provider, DRP)的利益及技术安全性得不到有效保障,很多大型企业、主机厂即 DRP 不愿意主动提供本企业的设计资源,以至于设计资源需求者(Design Resources Demander, DRD)的设计任务的执行质量、及时性等都难以得到保障,最终 DRP 和 DRD 之间在网络化环境下的协同设计显得有些滞后。

1.2 云计算的优势

云计算是一种全新的网络服务方式,是集群计算、网格计算、公用计算等各种技术发展融合的产物,它将分布式资源进行虚拟化集中分配管理。企业和个人用户重要通过高速的互联网就可以得到计算能力,从而避免了大量的硬件投资,小公司往往缺乏开发大型应用程序的资源,而在云平台上开发程序,公司就可以省下昂贵的硬件费用;云计算给多人协作带来契机,小公司缺乏人力财力物力去进行软件开发和维护,也没有能力解决苛刻的网络安全问题,将软件开发和

软件服务外包给其他公司,在把开发的软件上载到云平台上,小公司就节约了投资在系统上的成本。云平台上的软件还具有协作功能,便于产品设计中多学科领域的分布式协同。

云计算中的数据更加安全可靠,资源整合使用率更高,它使用了数据多副本容错、计算结点同构可互换等措施来保障服务的可靠性,因此数据在云计算中通常会存在多个备份,这样即使在服务器崩溃的情况下云计算技术也能表现出惊人的恢复能力。

1.3 云设计的定义

结合云计算、网络化协同设计等技术和相关研究成果,本文对云设计进行定义如下。

云设计是一种将网络化协同设计技术、并行工程和服务技术同云计算、云安全技术相融合,实现对整个产品设计过程的统一规则化集中管理和经营,将各类设计资源以服务的形式提供给产品的整个设计过程的各个层次的设计人员,并动态监控设计进度和质量,云设计重在协同,不同学科和不同领域的设计成员可响应与其设计任务相关的其他人员的设计活动,快速的进行沟通和反馈,高效的完成设计任务。图 1 为云设计平台的示意图。

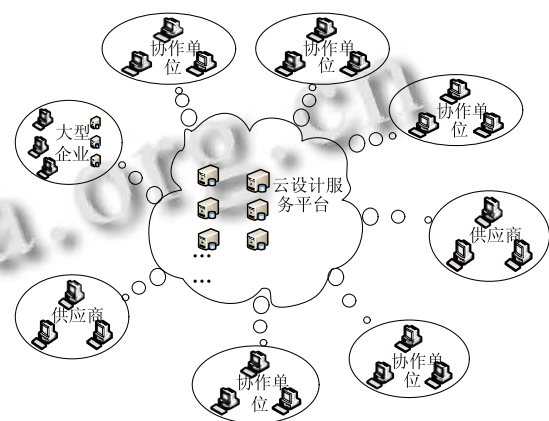


图 1 云设计平台示意图

2 起重机云设计平台的基础构架

以往的 PDM(产品数据管理)系统主要为同一工作场所内基于项目的协同工作设计团队服务,重点关注的是企业内部的协同;而对产品进行多学科并行开发时,要求实现本地设计协同和异地设计协同,加之不同领域的开发过程不同且不断变化,要求产品数据管理应延伸到对整个设计开发过程的管理上,可理解为企业、供应商、

协作单位之间的协同即企业外部的协同. 对于大型企业的发展, 外部的协同和内部的协同一样重要.

起重机整机生产厂大量的数据可从配件厂获得, 由于设计群中的不同厂家采用不同的三维设计工具所带来的产品数据格式不同以及设计行为的分散性造成规范间的冲突均严重影响了设计效率, 因此考虑在设计早期通过有效的协调机制来解决协作上面的冲突可缩短设计周期, 降低成本. 具体方案为: 进行协同设计时, 针对该起重机参数化协同设计系统建立协同数据库, 用于存储各学科、各领域设计人员的设计行为过程、设计权限等级信息、统一格式设计知识以及形式化的协同逻辑等, 将其上载到数据库服务器中, 并通过建立客户端与协同数据库之间的连接, 动态的更新及维护协同数据库. 协同任务分解成子任务后, 系统对执行各子任务的负责人或负责团体权限等级进行监控, 当发生设计冲突时, 按照权限的高低来限制设计人员的操作, 新加入的设计成员被赋予相应的操作权限后才可允许其设计行为. 图 2 为起重机云设计平台的基础架构.

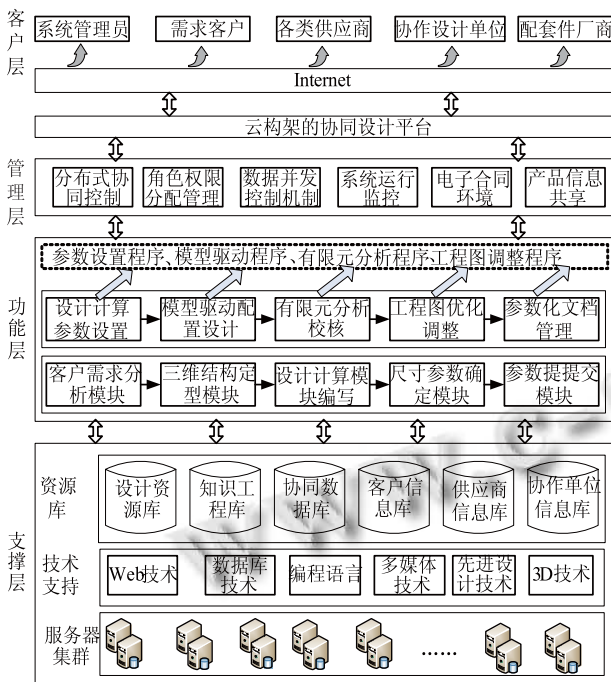


图 2 起重机云设计平台的基础架构

2.1 系统总体结构

从结构上来说, 平台大体可分为客户层、管理层、功能层、和支撑层四个层次

(1) 客户层 是起重机生产整机厂与各个配套厂

商及协作单位的信息交互界面, 各个协作人员可根据自己的权限通过 Web 浏览器进行注册、登录和定制服务, 系统管理员可通过该层进行配置和管理用户.

(2) 管理层 该层的主要功能是管理员对设计的实施进行分布式的协同控制. 通过角色管理模块对设计人员进行角色分配, 划分设计任务; 对系统的使用情况进行认证、监控和计算, 如所提交数据的合理性等; 接受用户发送的请求, 根据用户请求转发到相应的节点服务器, 调度资源, 动态的部署、配置和回收资源, 确保资源能够顺利的分配给合适的用户; 共享产品的信息模型并动态的修改信息模型来保证各设计人员获得产品信息的同步性.

(3) 功能层 为平台的核心部分, 将功能划分为客户需求模块、三维结构定型模块、设计计算模块、分析及优化模块来实行, 便于相关联的设计人员或设计单位进行修改和优化.

(4) 支撑层 分为资源库、技术支撑和硬件支撑, 将设计资源企业单位信息进行统一化的管理, 技术支持包含平台建设、运转所需的相关技术, 虚拟的或物理的服务器机群, 负责设计数据和信息的分布式、高速计算、用户请求的处理等.

2.2 系统通讯机制

如图 2 所示, 起重机云设计平台服务器机群大体分为带监控的主服务器、监控管理器、应用及存储节点服务器以及计算节点服务器四个部分, 分别用于对个节点的状态信息进行监控、数据存储与资源管理、并行计算. 系统划分完成设计任务之后, 获得任务的设计团体采用“多客户端/总服务器/多工作站”(MCTSMS)工作模式, 总服务器即应用及存储服务器, 由监控管理器的管理员对其进行监控和维护. 具体的通讯机制如下:

结构设计人员通过客户端向应用节点服务器提交设计参数, 应用节点服务器对操作进行处理, 将处理后的结构存储在存储节点服务器中; 与此同时, 应用节点服务器向计算节点服务器发送工作的命令, 计算节点服务器接受到命令流后进行模型驱动、有限元分析校核, 并存储数据到数据库服务器中, 并向优化设计人员发送已有产品信息的消息; 优化设计人员得到产品模型后对模型进行优化更新, 并提交到数据库服务器中, 数据库服务器向结构设计人员发送产品更改消息和优化后模型的信息, 结构设计人员确认信息正确后, 由主人

设计师进行仲裁,并向计算节点服务器重新发送命令来执行驱动模型程序以及进行自动出图、工程图调优,生成的产品数据文档自动检入相应的数据库中,之后更新相应的产品数据库。系统记录各设计人员的操作步骤以及操作时间并存储于协同数据库中,客户端、服务器、工作机之间是通过调用 windows API 函数辅助开发 Message 消息模块来进行通信的。

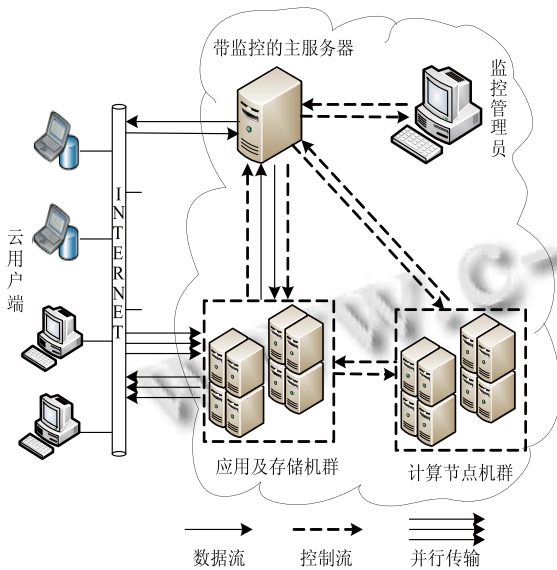


图3 起重机云设计平台服务器机群

2.3 信息交互的载体---全息产品模型

在云协同设计过程中,异地设计人员的协作设计结点以及 DFA/DFM(可装配性设计、可制造性设计)分析结点间的协同是以分散在各结点的产品模型为基础^[11]。产品模型的实时更新是协同设计能够成功的关键。因此,在建立产品模型时采用全息建模方法,全息产品模型是面向产品全生命周期的动态虚拟产品模型^[12]。根据起重机参数化协同设计平台的模块化划分方案,将模型在产品的全生命周期中所需的所有信息进行合理分类、整合,分别与各个模块所需数据进行对应,具体说明如下:将起重机的设计过程模块化的划分成前期设计模块、结构设计模块、参数化设计模块、参数化有限元分析模块及多学科优化设计模块,则与之相对应的信息即可归类为几何形状信息与管理信息、装配信息与属性信息、工程图信息、有限元分析信息,其中属性信息包括直观属性信息(如尺寸、颜色等)、抽象属性信息(如材料、重量等)。因此,在建立单纯的三维几何模型时,应将这些信息进行统计和分类存储,将几何模型

与信息模型进行整合形成具有产品完整信息的全息产品模型。通过使用全息产品模型进行参数化协同设计可实现零部件最大限度的重用及零部件信息的动态更新,以便进行设计结果、设计过程的重用和实时的协同操作。

3 起重机的参数化协同设计

3.1 并行工程

并行工程是集成地、并行地设计产品及其相关过程(包括制造过程和支持过程)的系统方法。这种方法要求产品开发人员在一开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。并行设计兼顾产品常规设计流程的任一环节,并行设计提高了设计柔性,设计初始就已明确了设计全局。其具有并行性(concurrent)、约束性(constraint)、协调性(coordination)和一致性(consistent)四个特点。并行性要求产品和过程设计在同一个框架内并行进行;约束性要求在产品设计时考虑过程的约束性(包括过程的时间效益、成本效益等);协调性要求产品和过程密切协调;一致性要求产品和过程中的重大决策要取得并行工程小组人员的一致意见^[13]。

3.2 参数化变型设计技术

参数化变型设计是以拓扑约束、尺寸约束、工程约束驱动为技术基础,不仅包括传统参数化所包含的对部分特征驱动尺寸的修改使其它关联尺寸得到相应修改而产生结构相同但尺寸不同的零件系列三维模型,而且包括基于三维参数化模型驱动后与之相关联工程图的视图位置、比例、尺寸、注释、BOM表等相关信息的自动更新,生产制造的下游工装夹具、工艺规程规划、NC代码等参数化关联设计等,乃至整个产品生命周期的参数化设计^[14]。

图4为协同设计环境下起重机参数化变型设计路线,首先将产品各组成零部件及装配体的各个驱动参数进行等级的划分,建立模型模板和工程图模板,确定其变型、变参空间、驱动模型的主动和从动参数;其次根据起重机行业设计规范和标准编写设计计算程序、数据接口和模型接口程序、工程图调整程序、有限元分析的命令流文件及有限元软件接口程序,提取客户所需产品设计数据导入系统中,对参数进行有限元分析校核,将校核后的参数通过接口程序导入参数

化模型模板获得企业要求产品三维模型, 将模型共享到服务器中; 最后, 多学科专家从服务器获取模型进行优化设计, 并发出指令重新进行模型驱动和工程图自动调优, 所生成的符合要求的三维模型、BOM 表、调整后的工程图以及工艺信息统计表自动存入数据库中, 用于客户自主查阅与下载。

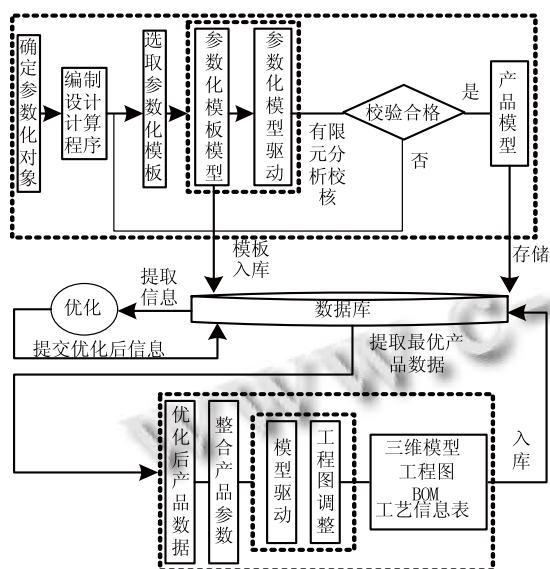


图 4 起重机参数化变型设计路线

参数容错机制、数据间的格式转换机制的过滤环节, 信息方可进入协同数据库中, 协同过程的数据必须采用统一的格式和规则进行存储和调用; 设计团队内部如企业内部局域网可通过自主运行的 PDM 系统进行借鉴和调用设计文档来协调内部工作. 根据上述起重机参数化变型设计路线完成的铸造起重机小车架端梁的参数设计界面、驱动后的模型及工程图如图 5 所示。

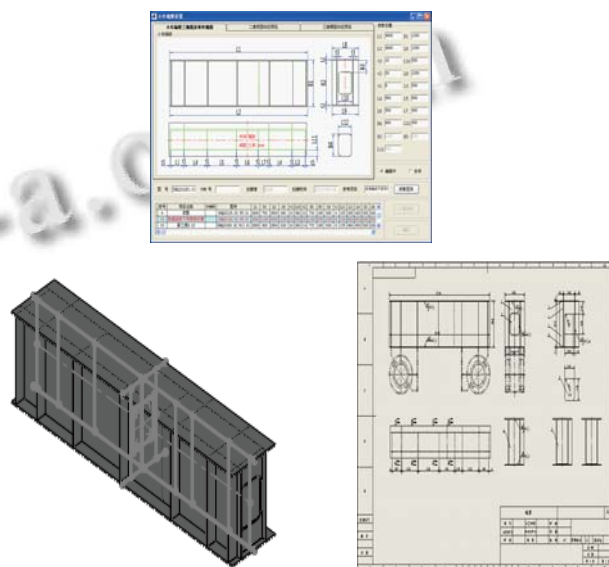


图 5 端梁驱动后的模型和工程图

4 实例验证

以某型号铸造起重机小车架端梁为例, 简要介绍云构架下起重机参数化协同设计系统平台的具体应用。

4.1 任务划分

主任设计师根据实际要求对不同领域的设计工程师进行权限的划分, 某领域设计工程师根据设计任务协调小组成员, 合理分配其设计团队的工作. 将起重机的设计任务主要分解为五个部分: 前期设计、结构设计、参数化设计、参数化有限元分析、多学科优化设计. 各级成员各司其职并行的进行协同设计工作以及分布式的存储, 分布式的存储的优势在于当某领域设计团队的局部网络受损时, 仍具有能够恢复原来信息的能力。

4.2 协同工作

在对某一任务进行执行时, 需要协调所有参与的设计团队, 起重机大型整机厂、供应商、协作单位才能按照任务执行所需要的协同方式进行工作. 建立协同数据库, 上传信息时, 由于并行工作的设计群体可能采用不同的 3D 设计软件的特点, 需经过冲突解决机制、

5 结论

本文鉴于网络化协同设计的缺点, 总结了云计算的优势, 将现有的网络化协同设计、并行工程和服务技术同云计算、云安全技术相融合, 提出了云设计. 将先进的设计技术与云设计相结合, 构建起云构架下的起重机参数化协同设计系统, 采用资源的集中分配, 不同层次的设计人员可根据权限合理的调度相应的资源对产品进行并行设计, 优化了目前起重机制造企业的工作模式, 能够有效的提高起重机产品的设计效率, 降低了设计成本, 推进起重机行业信息化程度。

参考文献

- 1 王鹏. 走进云计算. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- 2 田凌. 网络化产品协同设计理论及支持技术研究. 北京: 清华大学, 2002.
- 3 Li YL, et al. Design and implementation of a process-oriented intelligent collaborative product design system. Computers in Industry. 2004, 53: 205-229.

- 4 李伯虎,柴旭东,朱文海,等.复杂产品协同制造支撑环境技术的研究.计算机集成制造系统,2003,9(8):691-697.
- 5 McDowell DL, Panchal JH, Choi HJ, et al. Distributed Collaborative Design Frameworks. *Integrated Design of Multiscale*, 2010: 313-349.
- 6 于加晴,查建中,陆一平,等.面向复杂产品的分布式协同设计系统.中南大学学报(自然科学版),2010,41(2):539-545.
- 7 吴雄喜,高奇峰.复杂产品的异地协同设计及其柔性流程实现.机械设计,2009,26(10):9-11.
- 8 Shyamsundar N, Gadh R. Internet-based collaborative product design with assembly features and virtual design spaces. *Computer-aided design*, 2001, 33:637-651.
- 9 Xiong HY, Sun SR. A distributed collaborative product customization system based on Web3D. *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*. Melbourne: Swinburne Press, 2007: 926-930.
- 10 Zhang WJ, Li Q. Information modeling for made-to-order virtual enterprise manufacturing systems. *Computer-Aided Design*, 1999, 31:611-619.
- 11 张必强,邢渊,阮雪榆.大型三维几何模型在分布式协同设计中实时传输的关键技术.计算机工程,2003,1:28-30.
- 12 郝云堂,金焯,范秀敏,等.基于全息产品模型的虚拟产品开发方法.计算机集成制造系统,2003,9(5):357-362.
- 13 李峰,徐诚,赵彦峻,等.面向并行工程的轻武器协同设计研究.南京理工大学学报,2007,37(2):214-218.
- 14 Wu SF, Wang ZY. Rapid design platform for mechanical products based on CBR. *Advanced Materials Research*, 2010, 102(104):262-266.
- 15 van der Vegte WF, Pulles Jeroen PW. Towards computer-supported inclusion and integration of life cycle processes in product conceptualization based on the process tree. *Automation in Construction*, 2001, 10(6):731-740.
- 16 高曙明,何发智.分布式协同设计技术综述.计算机辅助设计与图形学学报,2004,2:149-158.
- 17 陈艳.面向中小企业网络化协同设计支持平台关键技术研究.青岛:中国海洋大学,2009.
- 18 陈小安,尹佑盛,郑小光.分布式协同设计技术及其模型实例设计.机械工程学报,2000,(4):2-4.

(上接第 87 页)

- 7 Yang P. Subtractive Clustering Based RBF Neural Network Model for Outlier Detection. *Journal of Computers*, 2009, 4(8):755-762.
- 8 Kennedy J, Eberhart RC. Particle Swarm Optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995: 1942-1948.
- 9 Clerc M, Kennedy J. The Particle Swarm-Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space. *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, 2002, 6(1):58-73.
- 10 段其昌,赵敏,王大兴.一种改进 PSO 优化 RBF 神经网络的新方法.计算机仿真,2009,26(12):126-129.
- 11 夏轩,许伟明.改进的粒子群算法对 RBF 神经网络的优化.计算机工程与应用,2012,48(5):37-40.
- 12 Russell E, Shi YH. Particle swarm optimization: developments, applications and resources. *The 2001 Congress on Evolutionary Computation*. 2001, 1: 81-86.
- 13 van der Merwe DW, Engelbrecht AP. Data clustering using particle swarm optimization. *The 2003 Congress on Evolutionary Computation*, 2003, 1: 215-220.
- 14 UCI Machine Learning Repository: Data Sets. <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>.