

文章编号:1001-9081(2008)07-1878-04

## 基于 SPSS 的可重构统计过程控制系统

张素梅

(西安邮电学院 应用数学与应用物理系, 西安 710121)

(zhangsumei@sina.com)

**摘要:**为满足制造企业多样、敏捷的统计过程控制(SPC)需求,实现单元应用以及与其他制造信息系统的集成应用,通过分析和构建 SPC 领域模型,提出并实现了基于社会科学统计软件包(SPSS)的可重构统计过程控制系统。通过引入 SPSS 组件,执行 SPSS Syntax 命令,基于 SPSS 强大的统计分析功能实现对 SPC 的可视化统计分析,并以具有扩展点的组件化可重构架构满足企业应用模式和配置模式的可重构需求。最后以实例说明系统具有良好的可用性,为制造企业全面质量控制提供了一种数字化手段和应用平台。

**关键词:**统计过程控制;统计分析;SPSS;可重构

**中图分类号:**TP391.73 **文献标志码:**A

## Reconfigurable statistical process control system based on SPSS

ZHANG Su-mei

(Department of Applied Mathematics and Applied Physics, Xi'an College of Post and Telecommunications, Xi'an Shaanxi 710121, China)

**Abstract:** Aiming to meet the requirements that manufacturing enterprises need the digital Statistical Process Control (SPC) method with diversification and agility to be applied independently or integrated with other manufacturing information systems, a reconfigurable SPC system based on Statistical Package for the Social Science (SPSS) was proposed and implemented through analyzing and building SPC's domain model. The system introduced SPSS powerful statistical analysis functions to implement visual statistical analysis by referring SPSS components and executing SPSS Syntax commands. The component architecture and hot spots technology can meet the requirements of application mode reconstruction and configuration model reconstruction for SPC. At last an application instance is shown to confirm that the system with well usability provides a digital method and application platform for total quality management of manufacturing enterprises.

**Key words:** Statistical Process Control (SPC); statistical analysis; Statistical Package for the Social Science (SPSS); reconfigurable

### 0 引言

随着市场竞争日益加剧和客户需求多样化,大规模定制(Mass Customization, MC)、单元制造(Cellular Manufacturing, CM)等先进制造模式得到了广泛应用,制造过程管理(Manufacturing Process Management, MPM)、制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)等制造信息系统也对全面质量管理提出了敏捷化、精确化、可重构的要求<sup>[1-2]</sup>。同时,各相关质量管理体系和工具的可重构能力也是满足网络化的制造环境及其与其他制造信息系统的敏捷集成必需条件<sup>[3]</sup>。统计过程控制(SPC)是以大量数据和事实为基础,借助数理统计技术,追求完美的质量管理方法。SPC 作为调整工艺系统、稳定和产品质量的重要手段,也必须满足 MC、CM 等先进制造模式的需求,不仅能够快速、精确地完成基于统计原理的各种质量数据分析,适应不同制造系统的特定要求;也要满足与 MPM、MES 等制造信息系统集成,实现企业制造系统实时反馈和调整的数字化驱动的全面质量管理。

传统的 SPC 分析方式工作量大、分析周期长、容易出错,目前主要用于理论分析<sup>[4]</sup>。SPC 的实现已经逐步被计算机辅助方法所代替,如基于特定开发工具实现的 SPC 系统<sup>[5]</sup>、基于组件方式的 SPC 系统等<sup>[6]</sup>。但是由于上述分析工具多针对具体统计方法进行特定实现,不能满足不同统计方法的需

求,同时其算法的性能和可靠性尚有待加强。因此也有部分研究人员采用特定仿真软件进行 SPC 分析,如文献[7]应用 LabView 进行快速数据采集的 SPC 实现。这种方法可以利用仿真软件强大的数据采集和显示功能,但是其使用需要一定的统计学知识,门槛较高。另外各种依据分析结果的控制图的生成等相关问题也是实现 SPC 系统的一个障碍<sup>[8]</sup>。同时领域需求满足不完善,如分析结果输出的形式等;导致了目前的 SPC 系统不能和现有的制造信息系统有效集成应用,其应用与配置不能灵活重构以适应当前的制造模式。

作为世界三大统计分析软件平台之一的社会科学统计软件包(SPSS),不仅拥有强大而全面的统计分析功能,也提供了完全基于组件的开发平台,能够为特定应用领域提供定制化应用<sup>[9]</sup>。因此本文提出基于 SPSS 的统计过程控制系统,屏蔽 SPSS 直接应用的复杂性,支持企业多样化的统计过程分析方式,提供高性能的分析过程和可靠的分析结果,满足不同企业对 SPC 过程中数据采集、录入、分析、输出等各环节的特定需求,以可重构的方式实现与 MPM、MES 等系统的全面集成应用,实现敏捷、精确、可重构的 SPC 系统。

### 1 统计过程控制领域模型

目前的计算机辅助 SPC 工具不能实现敏捷、精确、可重构的应用需求,问题本质在于 SPC 领域的基本元素及其关系

收稿日期:2008-01-14;修回日期:2008-03-18。

基金项目:国家 863 计划项目(2007AA040503);西安邮电学院中青年基金资助项目(105-0433)。

作者简介:张素梅(1979-)女,河南鹿邑人,助教,硕士,主要研究方向:稳健设计、制造信息化。

没有在高层得到全面抽象,不能完整、统一、灵活的表达 SPC 数据及其逻辑,从而在无法支撑 SPC 系统在应用模式和配置模式上的灵活配置与重构。本文将全面分析 SPC 统计分析领域概念和元素,构建全面的系统模型,以驱动可重构的系统实现。

SPC 的核心是 DMAIC 过程方法,即 Define (定义)—Measure (测量)—Analyze (分析)—Improve (改进)—Control (控制)。定义阶段需要识别并确定需要控制和改进的关键产品以及过程;测量阶段需要采集质量数据,确定控制的上下限;分析阶段通过对质量数据进行统计分析得到影响质量的因素;改进阶段制定优化方案提高产品或者过程的质量;控制阶段则进行持续监测和改进以确保改进的成果。然而在产品制造的实际生产过程中,影响质量的因素错综复杂,不仅需要采集的质量数据进行过滤和噪声处理,还要根据不同制造系统的特点,采用相应的概率统计方法进行数据的处理和分析,然后依据分析结果,从中发现误差的波动规律,从而找出影响制造质量的问题并且控制制造过程正常运行。因此可以看出在 SPC 过程中,涉及制造系统、误差来源和统计方法及其之间的相互关系等静态元素,也涉及到质量数据的录入、数据分析处理以及分析结果输出等动态元素。因此 SPC 系统的领域元素可以分为制造系统、误差来源、统计方法、质量数据、分析结果及其之间的相互关系。图 1 表示了 SPC 领域基本元素及其关系,不同的制造系统对应采取不同的统计方法,制造系统之间的相互关系形成了误差来源,通过制造系统产生质量数据,利用统计方法分析质量数据,得到相应的分析结果,对应的特定误差来源隐藏于分析结果中,通过统计方法可以发现误差来源。

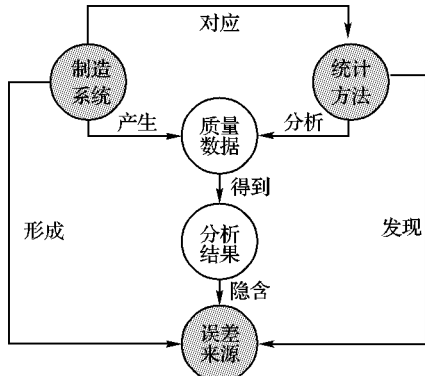


图 1 SPC 领域元素及其关系

对于制造系统来讲,其组成包括设备 (Machine)、材料 (Material)、人员 (Man)、工艺 (Method)、环境 (Environment) 等基本元素,即 4M1E 五个方面。对于误差来源来讲,可以分为原理误差、系统间相互作用形成的系统误差等。对于统计方法来讲,常用于 SPC 的方法有统计描述、线性回归等方法。质量数据可以是任意制造对象测量数据,包括几何参数(如形状、尺寸、粗糙度等)、物理参数(如导电性、导磁性等)、机械参数(如强度、硬度等)以及化学参数(如耐腐蚀性等)等;另外数据分析还需要将总体划分为不同的样本空间。用统计方法对质量数据分析的结果往往呈现一定规律性,直观和便于发现规律的方法是以图形的方式表现出来,因此分析结果主要以不同形式的控制图展现,误差类型则可能是系统误差或随机误差。同时上述元素的组成部分均会随着企业生产能力改造、产品与工艺创新等因素发生变化,如设备更新、应用新的统计方法等,这就要求这些组成元素能够进行动态的调整和扩展。因此本文采用面向对象的方法,进行系统模型的构

建。领域模型的 UML 基本类图如图 2 所示。SPC 领域模型完整描述了 SPC 领域的基本对象及其关系,同时又保留了可动态派生的机制以适应领域变化,为模型驱动的架构和系统的可重构奠定基础。

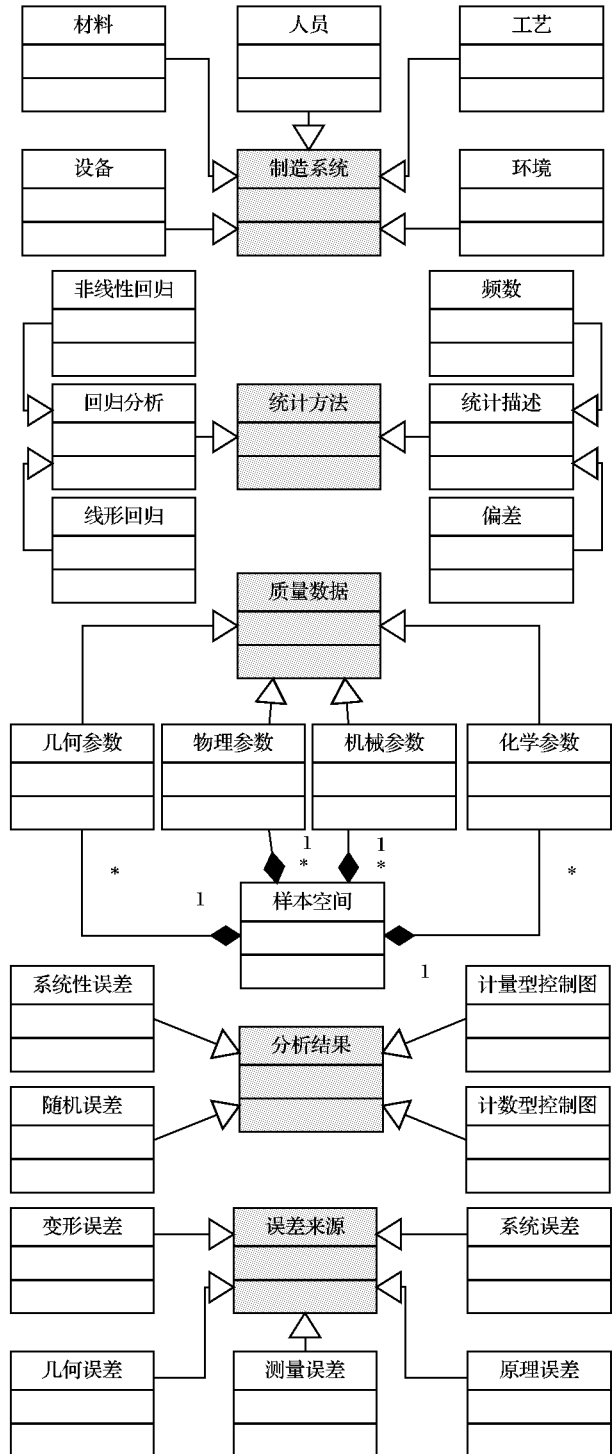


图 2 SPC 领域模型基本元素类图

## 2 基于 SPSS 的可重构 SPC 系统架构

SPSS 作为功能强大的统计分析平台,不仅提供了统计描述、方差分析、相关分析、回归分析等 86 大类几乎所有的统计分析方法,也提供了完全基于组件的系统架构模式和多种二次开发方法。SPSS 提供的开发方式分为 OLE 自动化、第三方 API、输入/输出 DLL、内置脚本和内置命令语法等几种。其中 OLE 自动化方法专门用于基于 SPSS 组件的独立应用开发。通过 SPSS 的 4 个基本组件及其包含的 26 个 COM 类,可以调

用任何 SPSS 的功能,通过 240 余种语法形式的 Syntax 命令行可以调用任意 SPSS 统计方法。因此,基于 SPSS 的可重构 SPC 系统的应用模式如图 3 所示。当 SPC 系统运行时,SPSS 以后台程序方式运行,SPC 系统引入 SPSS 的 4 个 COM 组件,使用其中 COM 类调用特定的 Syntax 命令,可以使用 SPSS 的用户界面进行各种选项的设置,继而调用 SPSS 算法进行运算,最后得到分析结果,调用 SPSS 的输出方式,进行可视化输出。

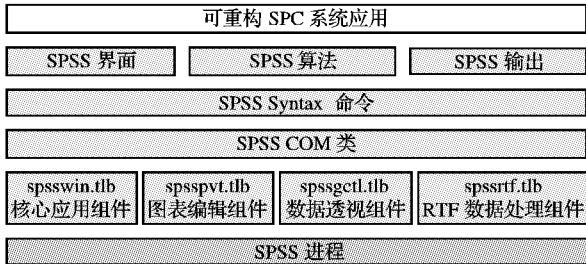


图 3 基于 SPSS 的可重构 SPC 系统应用模式

SPC 系统必须同时满足两方面的重构需求。首先必须满足应用模式的重构,既要可以作为独立应用满足企业单元信息化的需求,还要能够完全的、以工具集的形式集成到 MES、MPM 等系统中,实现企业应用集成,应用模式重构的目的是满足不同信息化程度的企业需求。其次必须满足配置模式的重构,既要能够满足企业现状的 SPC 需求,又要能够满足 SPC 业务变化所带来的应用扩展需求,配置模式重构的目的是满足对 SPC 业务的连续性支持。通过对 SPC 领域模型、领域基本元素及其关系的分析和构建,结合领域模型的灵活可变性,综合考虑领域模型中的共性、可变性、绑定和依赖关系,通过构建领域模型驱动的分层架构来实现面向 SPC 领域的可扩展的系统架构。系统架构以组件为基本元素,通过装配形成应用,满足应用模式的重构。另外通过扩展点(Hot Spot, HS)方式来满足变化的需求,实现配置模式的重构。系统架构以 .Net Framework 的编程模型为基础,支撑整个系统的组件化实现。通用框架层不包含 SPC 特定知识,为 SPC 过程中的各种特定功能提供底层功能支持,如数据读写、图形绘制,另外需要提供领域模型建模组件,快速建立不同企业、不同阶段的应用需求模型,另外还需要系统配置组件配置数据录入的界面、图形输出方式等。领域框架层由针对 SPC 领域的专有组件组成,实现 SPC 业务过程中的主要功能,如数据录入、结果输出、统计分析、算法选择等组件。扩展点层提供在 SPC 业务过程中可能会发生变化的功能点扩展接口,通过对扩展点的定制,实现系统的客户化,主要扩展点存在于算法匹配、缺失值替代、误差源匹配以及定制化的图形绘制方式,同时所提供的接口以插件的方式实现外部开发扩展。应用层面面向最终用户,可以是组件装配后的独立应用,也可以是集成于 MES、MPM 等系统的工具化应用。基于 SPSS 的可重构 SPC 系统的架构如图 4 所示。

### 3 系统实现与应用实例

基于 SPSS 的可重构 SPC 系统的实现主要基于以下几种技术。系统的组件开发基于 .Net Framework,所有组件均以 .Net DLL 组件的形式实现。对于扩展点的实现,采用插件(Plug-in)方式实现,以接口方式描述方法的外部特征,然后通过接口的实现类来实现特定功能,并插入到系统装配使用。整个系统以 C#语言开发,开发环境为 Visual Studio 2005。系统的基本运行过程如图 5 所示。其中在进行缺失值替代处

理、匹配统计方法、分析结果输出时,均会调用扩展点接口所预定义的各种规则以满足特定需求。

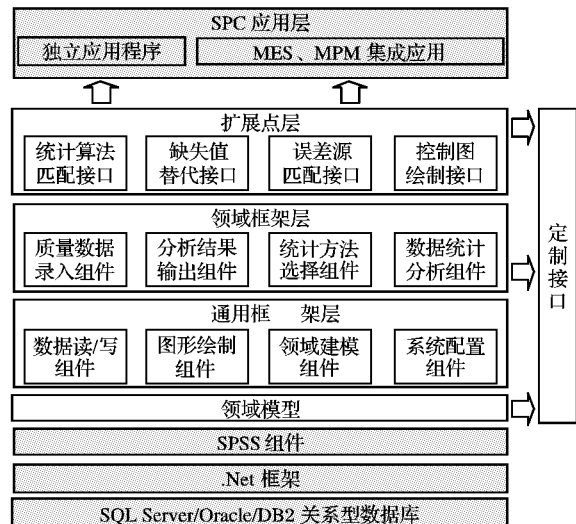


图 4 基于 SPSS 的可重构 SPC 系统架构

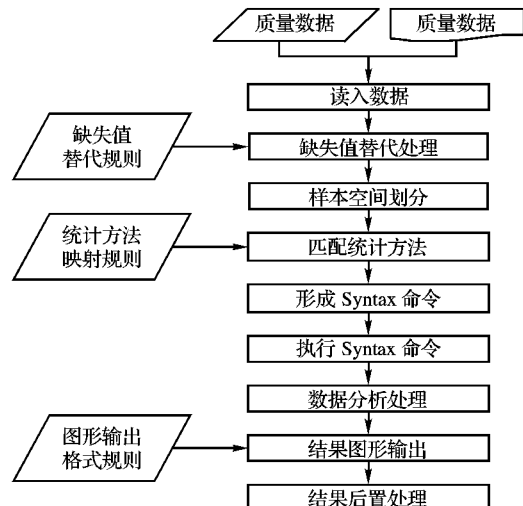


图 5 基于 SPSS 的可重构 SPC 系统应用基本流程

下面以基于上述 SPC 平台及其插件技术实现面向加工误差分析的插件应用实例说明系统的实现机理和运行过程。以下 100 条数据为轴径设计尺寸为  $\phi 60^{+0.06}_{-0.01}$  的磨削工件实测尺寸与基本尺寸之差的实测值:44,20,46,32,20,40,52,33,40,25,22,46,38,30,42,38,27,49,45,45,40,42,38,52,38,36,37,43,28,45,22,28,34,30,36,32,35,22,40,35,32,46,20,28,46,28,54,18,32,33,43,38,40,41,30,36,49,51,38,34,38,32,45,48,28,36,52,32,42,38,36,50,46,38,30,40,44,34,42,47,36,42,46,42,50,40,36,20,16,53,26, \*\*,47,36,38,30,49,18,38,38。单位为  $\mu\text{m}$ , \*\* 表示实测数据录入中因失误导致的数据缺失。

数据分析过程如下:

- 1) 读入加工数据,根据 SPSS 预定义的“用缺失值相邻 4 点的非缺失值的中位数替代”规则来进行缺失值替代。经过计算缺失值为“37.6”,则以“38”替代。
- 2) 由于拟采用直方图的方式进行数据分析,因此进行样本空间的划分,100 条数据比较合适分为 10 组。
- 3) 匹配直方图的统计方法,形成并执行用于绘制直方图的 Syntax 命令 PLOT HISTOGRAM。
- 4) 进行数据分析,并输出分析结果图形,并获取其统计描述,如尺寸分散范围为 0.038,尺寸差量聚集中心(平均值)

为 37.202, 均方根偏差(标准差)  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 8.927$ , 它在分析误差时, 决定着尺寸散布的程度, 比直接由测量得出的散布界  $V = x_{\max} - x_{\min}$  能更正确地反映工序加工条件对尺寸散布的影响。

5) 进行结果后置处理, 输入工件尺寸公差  $T = (0.06 - 0.01) \times 1000 = 50$ , 计算工艺能力系数  $C_p = \frac{T}{6\sigma} = 0.933$ 。

因此, 基于上述分析结果, 可以得知工件尺寸的分散范围比公差带还小, 但与公差带中心不重合, 因此误差类型为“系统性误差”, 根据当前使用的制造系统, 如果将机床的径向进给量增大 0.012 mm, 则可以消除系统性误差。从其工艺能力系数也可以看出,  $1.00 > C_p > 0.67$ , 属于第三级“工艺能力不足, 会出现少量不合格品”。分析结果如图 6 所示。

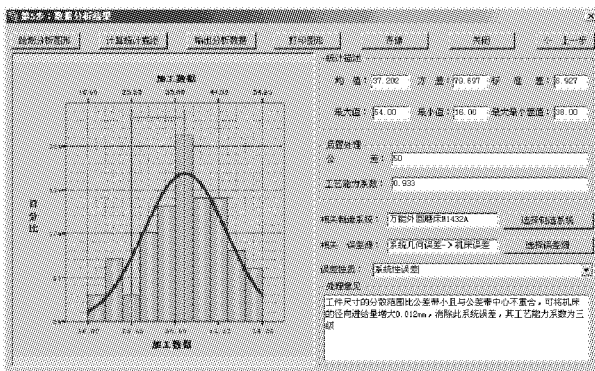


图 6 SPC 系统用于加工误差分析实例界面

#### 4 结语

数据的有效处理是获取有用信息的重要手段, 充分利用 SPSS 强大的统计分析功能, 不仅可以减轻 SPC 的劳动强度, 还能有效地提高分析的效率和质量。而基于 SPSS 的可重构 SPC 系统能够不仅满足企业单元信息化的要求, 也能满足企业应用集成的需求, 并能从架构上满足 SPC 业务的不断变化和发展, 为企业全面质量管理和控制提供了基础支撑技术。

(上接第 1877 页)

要基于电子政务平台实现, 把模块之间的交互消息和公共能力抽取为构件实现, 在应用逻辑层描述各个模块的逻辑功能, 使得软件开发流程更清晰有序, 开发的可操作性和可控性更强, 从而可以大大节省开发工作量和时间。设计和复用基于构件的电子政务平台的难点是如何定义和设计构件、构件间的关系和组合方式, 本文采用数理逻辑对构件模型的组织结构以及平台的扩展机制等问题进行了详细的论述, 对基于构件平台的服务可扩展性提供了更好的支持。由于平台的扩展机制是一项十分复杂的机制, 本文仅仅从构件设计和组装上对扩展机制形式化描述和构件模型的合理性验证进行了探讨, 但对于平台本身的形式化描述和扩展机制的具体实现还有待于进一步加强和完善。

#### 参考文献:

- [1] 国家信息安全工程技术研究中心, 国家信息安全基础设施研究中心. 电子政务总体设计与技术实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] BROWN A W. Large-scale component-based development[M]. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2000.
- [3] 钟路, 潘昊. 现代软件工程学[M]. 北京: 国防工业出版社,

目前, 无线技术已经广泛的应用于数字化车间<sup>[10]</sup>, 如何结合无线网络实现质量数据的动态实时采集, 进一步降低数据录入劳动强度和提高输入效率, 是 SPC 系统适应现场质量控制的一个重要研究方向。同时企业联盟日益频繁, 每一个节点的质量都会对整体产品的质量产生影响, 如何实现远程统计过程分析与控制, 对保证动态联盟企业产品质量, 提高生产效率有重要的实际意义。

#### 参考文献:

- [1] 范海蓉, 薛庆, 赵兴勇. 面向可重构制造系统的生产资源信息管理系统[J]. 机械设计与制造, 2006(6): 101-103.
- [2] 杨宏安, 孙树栋, 徐娅萍, 等. 可重构车间管理信息平台研究与实现[J]. 中国机械工程, 2006, 17(17): 1793-1797.
- [3] 邹峰, 何楨, 何曙光, 等. 网络制造模式下质量工具集成的研究与应用[J]. 机床与液压, 2006(11): 16-19.
- [4] VILLALOBOS J R, MUÑOZ L, GUTIERREZ M A. Using fixed and adaptive multivariate SPC charts for online SMD assembly monitoring[J]. International Journal Production of Economics, 2005, 95(1): 109-121.
- [5] 唐伟广, 赵选民, 苗宇涛. 基于 Oracle 三层结构统计过程控制的开发[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(20): 79-82.
- [6] SPEDDING T A, CHANDRASHEKAR M. A component-based simulation environment for statistical process control systems analysis[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2005, 21(2): 99-107.
- [7] 刘林, 邱继红, 王瑞芳. 基于 Labview 开发统计过程控制软件[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(2): 459-461.
- [8] TEYARACHAKUL S, CHAND S, TANG J. Estimating the limits for statistical process control charts: A direct method improving upon the bootstrap[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 178(2): 472-481.
- [9] 王津涛, 姜恩海, 王晓光, 等. SPSS 技术在实证研究数据统计分析中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(36): 201-203.
- [10] 陈冰, 江平宇, 李智光. 基于个人数字代理的制造质量控制与加工误差分析研究[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2006, 12(12): 2049-2056.

2004.

- [4] OSSHER H, TARR P. Software architectures and component technology: Multi-dimensional separation of concerns and the hyperspace approach[M]. Kluwer: Academic Publishers, 2002.
- [5] HERRMANN S. Sustainable architectures by combining flexibility and strictness in object teams[J]. IEE Proceedings Software, 2004, 151(2): 57-66.
- [6] RAJILICH V, SILVA J H. Evolution and reuse of orthogonal architecture[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1996, 22(2): 153-157.
- [7] 黄兴平, 龙湘明, 徐鹏, 等. COSFoTS: 面向构件的电信软件框架. 通信学报, 2007, 28(1): 49-56.
- [8] 向俊莲, 杨杰, 梅宏. 基于软件体系结构的构件组装工具 ABC-Tool[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(6): 956-964.
- [9] WANG GUI-JUN, UNGAR L, KLAWITTER D. A framework supporting Component assembly for distributed systems[J]. Enterprise Distributed Object Computing Workshop 1998. [S. l.]: IEEE Press, 1998(3/5): 136-146.
- [10] 张世琨, 王立福, 常欣, 等. 基于层次消息总线的软件体系结构描述语言[J]. 电子学报, 2001, 29(5): 581-584.