

实时智能系统开发软件 G2 的应用 现状与展望

邹志云 冯文强 邓德茹 于鲁平 郭 宁
(解放军总装备部防化研究院,北京 102205)

摘要:介绍了实时智能系统开发软件平台 G2 的基本构成和主要技术特点,较全面总结了 G2 在国内外过程状态和质量监测、统计过程控制与故障诊断,先进控制,辅助设计,辅助操作与运行,过程建模与仿真,过程危险性分析,间歇过程的设计、分析、操作与控制,工艺优化、参数预测和生产调度等方面的应用现状。最后,展望了 G2 在精细化工领域用于开发基于知识的间歇过程系统工程研究平台,以及先进控制、统计过程控制、过程危险性分析、故障诊断等方面的应用前景。

关键词:实时智能系统;专家系统;软件开发

中图分类号:TP391;TQ018

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S2-0166-09

Current situation and development of real-time intelligent system development software G2

ZOU Zhi-yun, FENG Wen-qiang, DENG De-ru, YU Lu-ping, GUO Ning
(Beijing Research Institute of Pharmaceutical Chemistry, Beijing 102205, China)

Abstract: This paper introduces basic structure and main technical characteristic of real-time intelligent system development software, G2, more comprehensively summarizes about the application status of process trend and quality monitoring, statistical process control and advanced control, computer aided process design, and operation, process modeling and simulation, process hazard analysis, batch process design, analysis, operation and control, process optimization, parameter prediction and production scheduling etc. Finally, the application trend of G2 in fine-chemical industry is reviewed, including the development of the batch process system engineering research platform, and advanced control, statistical process control, process hazard analysis, fault diagnosis etc. .

Key words: real-time intelligent system; expert system; software development

随着科学技术特别是信息技术的迅速发展,各类实时智能系统包括专家系统与辅助决策系统等在科学研究与生产试验中的作用越来越重要。多年来美国 Gensym 公司开发的面向对象的实时智能系统开发软件 G2,以其较强的并行实时计算、面向对象的设计、交互式图形技术、定性定量的集成化和结构化自然语言知识表达方式、动态定性定量混合建模与仿真运行功能,一直被公认为是全世界该领域最优秀的软件开发平台之一。

G2 是一套利用实时智能系统技术和方法的强大的面向对象的开发和运行环境,主要用于动态、复杂的决策支持和控制应用系统的管理和优化^[1-2]。G2 允许应用开发人员使用结构化自然语言表示对象、规则、方法和过程,所以应用开发人员可方便地理解、测试和修改模型。在实时或仿真实时应用中,G2 能够使开发人员把知识动态地应用到其操作和

运行的模型中去,得出结论,提出建议和采取行动。G2 可以同时大量数据和参数变化趋势进行多线性的分析和推理,可以使生产操作人员理解生产过程的复杂现象,这对实时决策支持和控制系统是非常重要的。应用 G2 可以把实时智能技术带入过程系统中,可以迅速地提供智能解决方案,有效地改善过程系统的质量、效率和灵活性。

从目前国内外的应用报道来看,G2 的应用领域包括过程状态监控、故障诊断、先进控制、辅助设计、辅助操作与运行、工艺优化、过程建模与仿真、过程分析与综合、质量监测与统计过程控制、间歇过程操作与控制、模式识别和趋势预测等各方面。

本文将首先介绍 G2 的组成及其特点,然后着重介绍 G2 在国内外过程工业等领域的应用情况,在此基础上展望了 G2 在精细化工领域的应用前景。

1 实时智能系统开发平台 G2 及其特点

1.1 基本构成

G2 的最大优势是集成了专家系统技术、软件技术和网络技术,形成了功能强大的开发和运行平台。一套完整的 G2 软件开发平台包括 G2 内核(G2 Core 或 G2 Application Server)、远程客户登录模块(Telewindows)、实用程序模块(G2 Utilities)、数据接口(G2 Gateway/Bridges)等系统模块和 GDA(G2 Diagnostic Assistant)可视化智能管理应用系统开发模块、NeurOn - Line 实时人工神经网络应用系统开发模块等^[1]。

G2 内核,也称 G2 基本模块,是 G2 实时智能系统开发软件的核心,提供开发和实施实时智能应用的全部基本功能。

Telewindows 是一套允许远程客户通过网络从一台客户计算机上登录 G2 服务器,完全无缝地使用 G2 开发软件的 G2 过程,便于 G2 应用系统的开发共享使用和集体开发。

G2 Utilities——G2 基本模块的可选组件,可用于开发用户操作界面如菜单和对话框等。G2 Utilities 的现有实用程序模块及其作用如下:

①GFR(G2 Foundation Resources),用于模块管理、通信操作、版本控制。

②GUIDE/UI(L(G2 User Interface Development Environment/User Interface Library),用于建造全面用户化的对话框。

③GMS(G2 Menu System),用于开发类似 Windows 操作系统的用户化操作菜单。

④GDD(G2 Dynamic Displays),用于产生动态图标和编辑器。

⑤GDI(G2 Development Interface),类似 Windows 操作系统的开发环境。

⑥GXL(G2 XL Spread Sheet),类似 Windows 操作系统的用户化电子表格。

⑦GOLD(G2 On Line Documentation),在线文档帮助。

G2 Gateway/Bridges 是 G2 与外部系统间的数据接口软件,它包括 GSI(G2 Standard Interface)等标准数据接口。G2 Gateway/Bridges 使 G2 及其应用系统可以从外界获取多种数据源,如数据库、自控系统和其他不同的实时数据库。

GDA 是在 G2 基本模块基础上建立的一个集成的可视化智能管理应用系统开发环境,它包含有数

据块、推理块和行动块等多种功能算法模块^[3]。GDA 提供的图形功能块使它可方便地用于数据监测、滤波和诊断,以及统计过程控制、报警管理、模糊逻辑推理和闭环控制。

NeurOn - Line 是基于 G2 基本模块的一个图形软件工具组件,用于建立人工神经网络应用系统,并把此系统应用在动态环境中^[4]。NeurOn - Line 具有向量块、数据集块、训练块和神经网络块等很强的人工神经网络功能块,包括反向传播神经网络、径向基函数神经网络、Rho 神经网络和自由联想神经网络等多种人工神经网络,可通过输入、输出数据快速训练和建造人工神经网络模型。NeurOn - Line 与 GDA 等模块集成,可用于过程模式识别、诊断和决策支持,实时质量管理以及过程的自适应监视和控制。

1.2 主要技术特点

G2 具有以下特点:

(1)并行实时计算。在 G2 内核中,带优先级的进程调度方法被用于多任务多线程并行计算,不同优先级的进程占有系统资源的份额不同。同时内核中包含先进的动态内存分配算法,能保证内存的合理安全使用。

(2)面向对象的设计。G2 中,过程知识与过程中某一装置或变量相联系,这与人类的知识组织方式和思维习惯相吻合。过程装置和变量在系统中定义为对象类,它们之间的派生和继承关系体现了知识的层次化。对象类拥有的过程知识可以应用到该类的所有对象实例中。系统允许灵活地创建、修改和删除对象类及其对象实例的属性,并且提供更新功能,保证类、派生类和对象实例的一致性。

(3)交互式图形技术。G2 中的对象都具有自己的图形,并且可以与其他对象连接。生产过程采用图形方式建模,流程一目了然,并且支持多画面的连接与切换。

(4)多种类型的知识表达方式,包括规则、过程和函数,构成了应用程序知识的大部分内容,可以作用于各种对象类。特别是它们可以描述在所有同类过程对象上使用的知识,具有普遍性。

(5)结构化自然语言。G2 采用自然语言描述过程对象、规则、过程,并且结合数学语言描述模型和算法,是实时智能系统开发语言的优选方式。

(6)动态建模与仿真技术。G2 带有动态仿真测试模块,随时可以对操作指令进行仿真环境下的测试。G2 具有专用的仿真计算引擎(G2 Simulator)和

专用的仿真算法表示算式(Generic Simulation Formula),故其动态仿真功能较强。

2 G2 在国内外的应用现状

2.1 过程状态监测和质量监测、统计过程控制与故障诊断

G2 具有较强的定性定量知识表达和推理分析功能,常用于工艺过程的状态监测和产品质量监测,分析过程的发展趋势,确定过程状态是否正常、异常或发生了故障。统计过程控制是进行过程的状态监测和产品质量监测的一种有效方法,在 GDA 中有专门的统计过程控制(SPC)算法模块。如发现过程异常,G2 将尽早向操作员报告并提出操作建议,使过程迅速回到正常状态;如发生故障,G2 将帮助操作员迅速诊断故障原因,提出排除故障的措施。以下列举了一些 G2 应用于过程状态监测、产品质量监测、统计过程控制与故障诊断的应用实例。

Kyung Joo Mo 等^[5]应用 G2 开发了一套基于知识的聚丙烯过程操作辅助专家系统,该系统最重要的部分是探测和分析过程在非正常情况时的症状,查找故障的根源。该文通过实施定性解释法和 2 套因果图模型法(符号导向图法和归纳因果图法),成功地构建了聚丙烯过程操作辅助专家系统——故障查除和探测系统/聚丙烯(Fault Isolation and Detection System/Polypropylene, FINDS/PP),获得了满意的结果。

Rengaswamy 等^[6]应用 G2 比较了基于数学模型的故障诊断法(故障模型处理器)和基于人工神经网络的故障诊断法(椭圆神经网络),分析了两者的优缺点,并应用到一套工业热交换系统上比较了这 2 个诊断法的效果。

Kaszakurewicz 等^[7]应用 G2 为巴西 Campos 的 24 号海洋石油钻井平台开发了一套故障监测与诊断专家系统,该专家系统包含有故障探测、诊断和咨询等主要功能模块。

Dinkar Mylaraswamy 等^[8]应用 G2 开发了一套名为 DKit 的混合型、基于黑板的故障诊断框架系统,在该系统中联合应用了基于因果模型的诊断和统计分类、模式识别技术。开发该混合框架的驱动力在于没有一种单一的故障诊断法可以满足复杂的工业规模的诊断问题要求,混合框架可以集中不同的诊断法去集体解决一些复杂的诊断问题。该框架系统应用于美国 Amoco 公司催化裂化仿真装置的故障诊断,表现出了优异的性能。

Pau Serra 等^[9]以 G2 为平台开发了一套名为 IS-CWAP 的污水处理中污水活化过程的基于知识的在线监测系统。该系统既从车间安装的传感器在线采集数据,又从工厂实验室获取离线分析处理后的数据,还从过程操作员处获取定性信息。这些数据和信息都被集成到污水处理厂智能监控系统(Intelligent System for Supervision and Control of WASTE water treatment Plants, ISCWAP)中。该系统包含有一系列诊断、探测、预测和操作规则,使其能够处理几种常见操作情况(可用基于数学模型的控制)和一些异常操作情况(对此必须同时考虑定量和定性信息)。

刘彦军等^[10]运用 G2 软件平台设计了神舟飞船推进系统的故障诊断推理机。他们针对飞船推进系统的工程实际问题,分析了推进舱推进子系统的故障特点,采用神经-模糊系统理论对推进舱推进子系统故障模式的知识表示进行研究,提出了推进舱推进子系统故障的知识表示形式。结果表明,该故障诊断推理机可以实时地诊断出相应的故障模式,记录相关的故障信息,还可以对故障进行预报,以避免故障的发生。

Gale 等^[11]以 G2 为平台开发了一套热轧钢带终轧机液压控制系统的状态监测专家系统。该智能管理信息系统集成了 LabVIEW 实时数据采集系统和 G2 专家系统,运行在 Windows NT 客户/服务器计算机网络上,其用于建立预测性维护应用的软件结构是基于一种新的概念性轧钢带生产线振动探测信号调理技术。

2.2 先进控制

Wagner C. Amaral 等^[12]以 G2 为平台开发了一套面向对象的智能控制工程软件环境。该控制系统设计软件环境集成了 G2 和 Matlab,它包括 3 个主要部分:一系列用于实施仿真、控制和分析任务的工具软件包,一个使任务对最终用户更明确的用户界面和一个协调工具软件包和用户界面的主程序。该控制系统设计软件环境被应用于开发一个多变量过程——一个重油裂化塔的仿真与控制原型。

孟振湘等^[13]应用 G2 于湖南岳阳长岭炼油化工总厂的 1[#]催化裂化装置反应-再生系统的先进控制和多装置区域协调控制。反应-再生系统是催化裂化装置的核心,其影响因素很多且很复杂,因而难以用较为精确的数学模型来描述实际的生产过程,也就难以用现在普遍应用的基本纯数学模型的预估控制来实现。采用专家系统为主,辅以必要的预估数学模型等先进控制手段,来逐步实现催化裂化装置

的优化控制。区域协调控制系统涉及到的装置包括 1# 常减压、1# 重油催化及延迟焦化装置。多装置区域协调控制包括以下 2 个方面的内容:一是当常减压的原油性质加工方案发生变化时,常减压装置本身的操作应做相应调整;二是当常减压装置提供给催化裂化和焦化装置的原料性质发生变化时,这 2 套装置如何随之进行操作调整,以消除装置之间的耦合影响。以 G2 为平台开发的 1# 催化裂化装置反应-再生系统的先进控制系统和多装置区域协调控制系统自 1999 年 10 月底试投用以来,系统的运行达到了预期目标,专家系统在线给出的提示信息是较为准确和及时的,其反映出的变化趋势和调节方向与装置的实际状况相当吻合,与操作员的调整也基本保持一致。

Chien-Hsien Wen 和 C. A. Vassiliadis^[14]应用 G2 及 NeurOn-Line 中的混合智能技术于一污水处理厂,建立了一套测试用的仿真模型,开发了一套在线先进控制策略。该控制策略包含专家系统、神经网络和混合人工智能网络,经污水处理控制应用证明,它在用于机理不清楚或难于建模的过程时,比传统方法要强。

2.3 辅助设计

Christine W. Chan 等^[15-16]应用 G2 及 GDA 开发了一套用于化工设计领域的专家系统原型——溶剂选型顾问系统 (Solvent Selection Advisory System, SSAS)。该系统在给定的不同用户要求和装置条件下,用于 CO₂ 吸收最优溶剂的初步选型。该系统既可作为顾问系统,又可作为指导系统。溶剂的选型基于启发式灵感和问题的可视化,帮助用户学习该领域知识。文献[15]给出了该系统的一些初步测试和评价结果。文献[16]比较了应用 G2 基于规则的方法和用 GDA 基于模块化图形对象的方法开发的 2 套溶剂选型顾问系统的异同,和 2 种开发方法的优缺点。

Ming Liang Lu 等^[17]应用多维面向对象的模型,以 G2 为平台开发了一套全生命周期的并行过程工程概念框架系统。他们给出了一个用该框架系统进行并行过程工程设计的实例——精馏过程设计实例。

Iskandar Halim 和 Rajagopalan Srinivasan 等^[18-19]提出了一套使污染最小化的化工过程设计方法,以 G2 为平台实现了该方法,开发了一套名为 ENVOP Expert 的智能专家系统。在 ENVOP Expert 中,只要给出过程流程图、过程化学原理和介质信息,ENVOP

Expert 就能自动探测污染组分,诊断污染的初始来源,给出智能设计建议以消除污染或使污染最小化。

2.4 辅助操作与运行

钱宇 (Yu Qian) 等^[20]以 G2 为平台开发了一种基于对象/智能体的计算机集成过程操作系统环境 (Computer Integrated Process Operation System, CIPOS)。该文提出的系统模型能解决一些计算机集成过程操作系统中的关键集成问题,包括问题集成、任务集成和工具集成等。他们在其 CIPOS 上实现了一个示例系统 (TE-CIPOS) 以进一步解释和证实所提出的基于对象/智能体的系统模型及其集成环境。

Shanker Viswanathan 等^[21]应用 G2 开发了一套用于生成操作规程的智能工具包 iTOPS。文献[21]描述了 iTOPS 的结构,讨论了 iTOPS 用于一药物工业案例的效果。Dongil Shin 等^[22]以 G2 为平台开发了用于解决诊断问题操作员培训的智能指导系统框架。一台动态仿真器和一基于计算机的指导系统构成了该智能培训系统。DONG Soo NAM 等^[23]以 G2 为平台开发了一套用于芳香剂过程和聚丙烯过程的基于知识的辅助操作故障诊断系统 FINDS/AC 和 FINDS/PP。

Hernan Villanueva 和 Harment Lamba^[24]应用 G2 开发了一套用于洗煤的操作员指导系统——煤灰控制模型 (Ash Control Model, AshMod),用于澳大利亚 Kembla 港口 BHP 公司洗煤厂。

张林和吕玲^[25]应用 G2 开发了一套加氢裂化工艺在线专家指导系统。论述了如何利用 G2 软件进行加氢裂化工艺在线专家指导系统的开发过程,以加氢裂化工艺为应用对象建立了类层、工作空间层次和模块化层次,对知识库的建立以及知识的获取和知识的表示做了说明,以加热炉为例建立了部分模拟规则。开发的加氢裂化工艺在线指导系统保存了各种加氢裂化工艺技术知识和专家们的宝贵经验,为操作员实时提供正确的指导信息,可改进生产过程控制和管理,优化生产操作,提高产品质量,减少消耗。

T. Wada 等^[26]应用 G2 建立了一个智能图形化工程系统-iGES,用于支持工厂操作员操作和管理好工厂,提高质量和安全,降低成本。

2.5 过程建模与仿真

R. Bogusch 等^[27]以 G2 为平台建造了一套计算机辅助过程建模环境 MODKIT,支持对化工过程模型的系统化开发、维护和重用。使用 MODKIT,可以使不规范的文字或图形信息的关于模型的定义要求

明确化,同时它给出了关于化工过程的结构和行为描述的计算机辅助手段,并支持模型开发 workflow。

G. L. Kovacs 等^[28]应用软件重用和面向对象的方法于制造系统的建模和控制,以 G2 和传统的仿真/动画系统(SIMAN/Cinema)为平台,开发了一套柔性制造系统的混合仿真和调度系统。

D. A. Linkens 和 E. B. Tanyi^[29]设计了一种混合建模和仿真方法,在 G2 实时专家系统平台上实现,并应用于一轧钢厂。该混合建模和仿真方法特别设计用于连续子系统和顺序控制站、过程操作员启发式知识相互交互的工业控制系统。该方法在轧钢厂的应用表明其具有集成混合仿真模型和实时过程功能的潜力。

Alenka Znidarsic 等^[30]以 G2 为平台建造了一套非晶体二氧化硅沉淀过程工厂仿真器。该过程是一典型的半间歇过程,包括离散和连续动态。

2.6 过程危险性分析

由于更高的公众关注和随之而来的更严密的法律规章要求,过程安全性、职业健康和环境问题的重要性日益增加。过程工业以对新的或已存在的装置系统的全面的过程危险性分析(process hazards analysis, PHA)来应对这些要求。由于完成过程危险性分析,需要大量的时间、精力和经费,因此有必要开发智能系统自动进行化工过程工厂的过程危险性分析。Venkat Venkatasubramanian 等^[31]应用 G2 开发复杂过程工厂危险性和可操作性(HAZard and OPerability, HAZOP)自动分析的智能系统。文献[31]还回顾了该领域过去几年的进展,指出该领域近来的进展有望解决自动过程危险性分析、内在安全设计、操作员培训和实时故障诊断等问题。

Ramesh Vaidhyanathan 等^[32-33]介绍了开发自动过程危险性分析专家系统的经验,应用 G2 开发了一基于模型的框架和一名为 HAZOP Expert 的专家系统,以实现过程危险性自动分析。HAZOP Expert 专家系统被用于一脱酸精馏装置、一加氢精制装置和一乙烯生产装置的过程危险性自动分析,获得了满意的结果。Ramesh Vaidhyanathan 和 Venkat Venkatasubramanian^[34]提出了一种对 HAZOP Expert 专家系统过程危险性分析结果进行过滤和排序的半定量推理方法,提高了 HAZOP Expert 专家系统对过程危险性分析的准确性。

Byoungwan Kanga 等^[35-36]应用多模型方法,以 G2 为平台建造了一套化工厂自动过程危险性辨识的基于知识的系统(Automatic Hazard Analyzer,

AHA)。AHA 专家系统开发和测试了过程危险性分析的新的过程知识模型和推理算式。AHA 专家系统及其新方法被用于一烯烃二聚装置的进料过程的自动过程危险性辨识,获得了比传统的定性的过程危险性分析方法如 HAZOP 更好的结果。

2.7 间歇过程的设计、分析、操作与控制

Charlotta Johnsson 和 Karl - Erik Asrzen^[37-38]基于 Grafacet 图、面向对象的编程技术和高阶 Petri 网,应用 G2 实现了 Grafchart 图,可用于间歇过程控制配方的运行和配方的表示。文献[37]给出了 Grafchart 图的简单概览,并证明了其概念与 ISA 组织最近定义的 S88.01 间歇过程控制标准相符。该文还介绍了一个仿真的间歇过程单元及其几种不同的表示间歇过程配方的方法。

Shankar Viswanathan 等^[39-40]基于 Grafacet 离散事件模型化概念,应用 G2 表示了间歇过程的程序性知识、声明性知识和隐含性知识,开发了一用于自动生成间歇过程操作规程的框架。文献[39]为第一部分,介绍了知识表示和框架设计情况;文献[40]为第二部分,说明了该框架的实现,即 iTOPS (Intelligent Tool for Operating Procedure Synthesis)-操作规程综合的智能工具的建造情况,介绍了 iTOPS 应用于一间歇制药过程操作规程的自动生成案例。

R. Srinivasan 和 Venkat Venkatasubramanian^[41-42]以 G2 为平台开发了一个用于间歇工厂危险性和可操作性自动分析的通用框架 Batch HAZOP Expert。该框架结合高阶 Petri 网、有向图和面向对象的知识表示方法,用于开发一个通用、灵活、有效和用户界面友好的系统。文献[41]为第一部分,详细介绍了智能系统框架的细节情况;文献[42]为第二部分,描述了 Batch HAZOP Expert 应用于一间歇制药过程危险性和可操作性自动分析的情况。

Byoungwan Kanga 等^[43]基于多模型方法应用 G2 自动进行间歇过程的安全性分析。按照多模型的概念,建立了 4 种过程表达模型,包括操作、材料、行为和功能知识库和 4 种过程危险性推理算式。该方法被用于一间歇制药过程的过程危险性分析,取得了比传统方法更成功更系统化的结果。

Simensen Jo 等^[44]给出了一套多维间歇工厂信息模型,修正了来自信息系统领域的概念以适应间歇应用。该模型被应用于一套仿真的多目的多流程间歇单元。提出该信息模型的目标是建立一个信息系统框架,支持集成的间歇工厂操作。该文应用该信息模型以 G2 为平台实现了一个信息系统原型。

Charlotta Johnsson^[45]在其博士论文中系统地论述了应用 G2 作为间歇控制图形化编程语言的情况,包括 Petri 网络、Grafcet 图、高阶 Petri 网络、Grafchart 图、间歇控制系统、间歇控制系统和 Grafchart 图、应用 Grafchart 构造配方和配方分析等内容。并指出间歇过程的调度,基于配方的间歇生产过程监控是进一步的研究方向。

2.8 工艺优化、参数预测和生产调度等

V. Uraikul 等^[46]应用 G2 开发了一套决策支持专家系统用于优化天然气管线操作。因为一套天然气管线控制系统包括许多复杂的操作,一个没有经验的调度员可能不能始终如一地完成好任务,因此文献^[46]开发了此优化操作专家系统,以对调度员提供一贯、快速和可靠的决策支持,使调度员尽可能少出差错。为建造此专家系统,先从熟悉该天然气管线控制系统的有经验的调度员处获取知识,实现为知识库中的规则。当专家系统经天然气管线专家验证后,即投入使用,帮助没有经验的调度员更好地操作天然气管线。

Chi Ki Sun 等^[47]也以 G2 为平台开发了一套天然气管线优化操作决策支持系统(gas pipeline operations advisor, GPOA)。GPOA 用于确定天然气管线的运行状态,推荐控制命令,决定相应的马力需求以及决定特定压缩机单元的开关。

J. A. Baeza 等^[48]应用 G2 开发了一套在线的基于知识的专家系统,用于监视污水处理厂的分布式控制系统,使系统可以试验不同的专家操作策略,用最少的能耗使输出污水的含氮量最少。该专家系统通过实施各种不同的操作策略,如改变负荷和流量,优化了该污水处理厂的性能,改进了其除氮效率,在通常的操作条件下增加除氮量达 11%。

Narate Lertpalangsunti 和 Christine W. Chan^[49-50]以 G2、GDA 和 NeurOn - Line 为平台开发了一套智能预测器建设装置(intelligent forecasters construction set, IFCS)。IFCS 综合应用了神经元网络模块、面向对象的可视化编程、基于知识的编程和过程性编程手段,是一种设计开发智能预测器的混合编程环境。IFCS 被用于加拿大 Regina 市的日用电力需求和供水需求预测,实验结果表明 IFCS 的预测精度高于传统的线性回归和案例推理法。

3 G2 在精细化工领域的应用前景与展望

3.1 基于知识的间歇过程系统工程研究平台

间歇过程适合小批量、多品种和高附加值的精

细化学品的生产,灵活多变,具有较好的柔性,即它可以用同一套多用途、多功能的设备快速切换生产多种类型的产品,比较适合精细化工生产工艺的特点和需要。我国目前现有的精细化工生产装置大多数采用间歇生产工艺。但是以前专门对间歇过程系统工程及对间歇过程计算机应用的研究还较少,间歇过程的设计、操作、控制和管理水平与国外先进水平相比还有较大的差距。应清醒地认识到间歇过程的设计、操作、控制和管理与连续过程还是有本质的区别,应该专门加以研究。

国外应用 G2 到间歇过程的设计、操作、控制和管理等的案例很多,如用 G2 自动生成间歇过程的操作规程,进行间歇过程的统计过程控制,进行过程危险性和过程可操作性分析等,并且还应用 G2 开发了一些基于知识的间歇过程系统工程研究软件平台,包括 Batch Kit 等,用于辅助间歇过程的设计、操作、控制、调度和管理。这是因为应用 G2 面向对象的编程技术和灵活多变的自然语言编程方法,可以实现 Grafchart 图和高阶 Petri 网,可较好用于间歇过程控制配方的运行和配方的表示,符合 ISA 组织制订的 SP88 间歇过程控制标准。并且应用 G2 实现的 Grafchart 图和高阶 Petri 网,也可以用于辅助机械装置和机电控制系统的分析、设计和仿真。

因此可以考虑应用 G2 开发一套具有精细化工间歇工艺过程特点的基于知识的间歇过程系统工程研究软件平台,辅助精细化工间歇工艺过程包括柔性多品种间歇生产装置等的设计、操作、控制和管理。

3.2 先进控制

精细化工市场竞争日益激烈,为了研制新型精细化学品,往往找到一些特性较复杂、工艺流程长、生产步骤多和操作条件较苛刻包括高温、高压、易燃易爆、强腐蚀性和固态介质的化学品,给未来精细化工过程的操作控制带来很大的困难,需要应用更先进的控制方法对其进行有效的操作控制。

先进控制是对那些不同于常规单回路 PID 控制,并具有比常规 PID 控制更好控制效果的控制策略的统称,而非专指某种计算机控制算法。与传统 PID 控制不同,先进控制是一种基于模型的控制策略,如模型预测控制和推断控制等。目前,基于知识的控制如智能控制和模糊控制,正成为先进控制的一个重要发展方向。先进控制通常用于处理复杂的多变量过程控制问题,如大时滞、多变量耦合、被控变量与控制变量存在着各种约束等。先进控制的实

现需要计算能力作为支持平台,控制计算机尤其是集散控制系统(DCS)的普及与提高,则为先进控制的应用提供了强有力的硬件和软件平台。

从 G2 在国内外先进控制领域的应用现状看,G2 不仅适宜用于实现基于知识的先进控制方法,如专家控制、模糊控制和智能控制等;而且其较强的定性定量知识的混合表达和运算推理功能,也使其能用于实现基于模型的控制策略,如模型预测控制、神经网络控制和推断控制等;并且 G2 特别适合于基于知识和模型的混合控制策略,也可用于先进控制系统的辅助设计和仿真运行。因此以 G2 为平台研制精细化工过程先进控制及其仿真系统,以适应新形势下的精细化工过程控制要求,是可行的也是必要的。

3.3 统计过程控制

统计过程控制(statistical process control, SPC)不是直接用于控制回路的一种控制算法,而是由一组变量控制图、Pareto 图、因果图和散点图等分析工具组成的一种基于统计学原理的分析,用来提高产品的质量,减少不合格产品和二次加工。

统计过程控制应用统计学原理,监视生产过程的运行,判断过程是否处在统计控制状态,并通过分析产品的质量从中找出过程中可改善的因素,加以改进,从而减少过程的变化,降低生产成本,最终达到提高产品质量和生产率的目的。

从国外的报道看,G2 在化工及机电产品质量的统计过程控制领域有着广泛的成功应用。因为在 G2 上的 GDA 智能过程管理应用软件中,有专门进行集成的统计过程控制的 SPC 算法模块,与 GDA 中的其他数据、推理和运算模块合起来使用,使得 GDA 能够通过实时的 SPC,分析影响产品质量的过程因素,加以调整和改正。

目前,为了更好地贯彻 ISO9000 质量标准,提高精细化工过程质量控制水平,有必要对试制或生产精细化学品的精细化工过程进行在线实时的产品质量统计过程控制。因此可以考虑应用 G2 进行精细化工过程的在线实时的产品质量统计过程控制,开发统计过程控制系统,改进和完善质量控制手段。

3.4 过程危险性分析

近年来,国外化工界为了防止重大灾害性事故的发生,普遍推广了现代安全管理方法,变事后处理为事前预防,其中一个重要的手段是过程危险性分析与评价。国外化工界已用 G2 开发了多套过程危险性分析智能专家系统,成功地进行了连续或间歇

生产过程的自动过程危险性分析,提出了在设计、安装、操作控制和运行等阶段的安全技术措施。精细化工过程中的工艺介质很多是有毒有害及易燃易爆化学品,为了提高精细化工过程的安全性,降低危险性,可以参照国外经验,应用 G2 开发精细化工过程危险性分析智能专家系统,提出设计、安装阶段的预防性安全措施,以及运行阶段的安全操作措施,把过程危险性降低到最低,实现精细化工过程的安全试制和生产。

3.5 故障诊断

故障检测与诊断技术是对系统的异常状态的检测、异常状态原因的识别以及包括异常状态预测在内的各种技术的总称。目前所有的故障诊断方法可以划分为基于知识、基于解析模型和基于信号处理的方法。

在工程实践中,对象的精确数学模型是无法得到的,这就大大限制了解析方法的使用范围。而基于知识的方法恰恰不需要对象的精确数学模型,因此具有很大生命力。它的发展大致经历了两个阶段:基于浅知识(人类专家的经验知识)的第一代故障诊断专家系统和基于深知识(诊断对象的模型知识)的第二代故障诊断专家系统。近期出现的混合结构的专家系统,是将上述两种方法综合使用,互补不足。

G2 是适宜开发基于知识的专家系统的软件平台,从目前 G2 在国内外故障诊断领域的大量成功应用情况看,应用 G2 开发各类化工过程及装备的故障诊断专家系统具有较大的应用前景。精细化工过程及装备种类繁多,结构复杂,故障现象多,原因复杂,因此开发精细化工过程及装备故障诊断专家系统,保留和利用老专家经验知识,对未来精细化工研究、设计、试验和生产中的故障诊断问题提供指导,是一个具有重要研究价值的课题。

3.6 其他方面

从 G2 和 GDA、NeurOn-Line 的功能,以及它们在国内外各领域的应用情况看,G2 在精细化工科研、试验和生产的其他领域也有一定的应用前景,只要能把关于应用对象的定性定量知识较好地用 G2 编程语言表示出来,就有成功的可能。下面简单介绍一下 G2 在其他领域的应用设想。

在辅助建模方面,G2 适宜用于定性定量混合建模,开发图形化建模程序模块,以及构建集成化的辅助建模环境。另外,GDA 中的模糊逻辑模块,可以用于建造模糊逻辑模型。NeurOn-line 中的神经元

网络模块,可以利用输入输出数据训练生成神经网络模型。

在系统仿真方面,G2 的智能编程及实时可视化仿真运行功能,特别适宜用于定性仿真及定性定量混合仿真,可以用于开发自动控制仿真系统以及操作培训仿真系统等。

在操作指导方面,可以总结老专家的经验知识,用 G2 开发精细化工生产装置操作指导专家系统,在线或离线指导生产人员的操作。

在辅助设计方面,可总结工程设计技术知识和老专家的工程设计经验知识,以 G2 为平台开发辅助设计专家系统,包括辅助设备选型专家系统(反应器、精馏塔、阀门、管道、泵、仪表等)、催化剂和溶剂选型专家系统、工艺方案可行性分析专家系统、可操作性分析专家系统和概念设计专家系统等。

G2 还可望用于工艺参数变化趋势和数值大小的预测,用于不可直接测量参数的推断测量或软测量,用于生产计划调度、工艺优化与配方优化等方面。

参考文献

- [1] Gensym Corporation. Getting Started with G2 Tutorials [Z]. Version 5.0. Cambridge, MA: Gensym Corporation, 1997.
- [2] Gensym Corporation. G2 Developer's Guide [Z]. Version 5.0. Cambridge, MA: Gensym Corporation, 1997.
- [3] Gensym Corporation. GDA User's Guide/Reference Manual [Z]. Version 3.0. Cambridge, MA: Gensym Corporation, 1997.
- [4] Gensym Corporation. NeurOn - Line User's Guide [Z]. Version 3.0. Cambridge, MA: Gensym Corporation, 1997.
- [5] Mo Kyung Joo, Oh Young Seok, Yoon En Sup, *et al.* [J]. Expert Systems with Applications, 1997, 12(4): 455 - 464.
- [6] Rengaswamy R, Mylaraswamy Dinkar, Arzen K-E, *et al.* [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2001, 14(4): 805 - 818.
- [7] Kaszkurewicz E, Bhaya A, Ebecken N F F. [J]. Expert Systems with Applications, 1997, 12(2): 189 - 194.
- [8] Mylaraswamy Dinkar, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1997, 21(Suppl): S935 - S940.
- [9] Serra Pau, Sanchez Miquel, Lafuente J, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1997, 21(2): 211 - 221.
- [10] 刘彦军, 司锡才, 杨嘉伟, 等. [J]. 系统工程与电子技术, 26(1): 122 - 124.
- [11] Gale K W, Watton J. [J]. Proc Instn Mech Engrs Part I, 1999, 13: 359 - 394.
- [12] Wagner C Amaral, Nazzetta R M, Lúcia Valéria R Arruda. [J]. SBA Controle & Autormacao, 1999, 10(1): 59 - 67.
- [13] 孟振湘, 陈明杰. [J]. 化工自动化及仪表, 2001, 28(6): 17 - 22.
- [14] Wen Chien-Hsien, Vassiliadis C A. [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1998, 11(6): 685 - 705.
- [15] Chan Christine W, Tontiwachwuthikul Paitoon. [J]. Expert Systems with Applications, 1995, 8(1): 33 - 46.
- [16] Chan Christine W, Lau Patrick. [J]. Energy Convers Mgmt, 1997, 38 (Suppl): S87 - S92.
- [17] Lu Ming Liang, Batres Rafael, Li Hua Sheng, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1997, 21(Suppl): S11 - S16.
- [18] Halim Iskandar, Srinivasan Rajagopalan. [J]. Ind Eng Chem Res, 2002, 41(2): 196 - 207.
- [19] Halim Iskandar, Srinivasan Rajagopalan. [J]. Ind Eng Chem Res, 2002, 41(2): 208 - 219.
- [20] Qian Yu, Huang Qiming, Lin Weilu, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24(2-7): 457 - 462.
- [21] Viswanathan Shanker, Mockus Linas, Venkatasubramanian Venkat, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22 (Suppl): S601 - S608.
- [22] Shin Dongil, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1996, 20(Suppl2): S1365 - S1370.
- [23] Nam Dong Soo, Jeong Chang Wook, Choe Yong Jin, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1996, 20(6-7): 793 - 803.
- [24] Villanueva Hernan, Lamba Harment. [J]. Artificial Intelligence in Engineering, 1998, 12(3): 261 - 273.
- [25] 张林, 吕玲. [J]. 石油化工高等学校学报, 2002, 15(3): 68 - 71.
- [26] Wada T, Nakada Y, Morrow P, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1997, 21(Suppl): S89 - S94.
- [27] Bogusch R, Lohmann B, Marquardt W. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2001, 25(7-8): 963 - 995.
- [28] Kovács G L, Kopácsi S, Naicsa J, *et al.* [J]. Computers in Industry, 1999, 39(3): 177 - 189.
- [29] Linkens D A, Tanyi E B. [J]. Control Engineering Practice, 1999, 7 (9): 1101 - 1112.
- [30] Žnidaršič Alenka, Kocijan Juš, Skobe Andrej. [J]. Computers in Industry, 1998, 35(2): 207 - 221.
- [31] Venkatasubramanian Venkat, Zhao Jinsong, Viswanathan Shankar. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24(9-10): 2291 - 2302.
- [32] Vaidhyanathan Ramesh, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1996, 20 (Suppl2): S1589 - S1594.
- [33] Vaidhyanathan Ramesh, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1995, 50(1): 33 - 49.
- [34] Vaidhyanathan Ramesh, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1996, 53(2): 185 - 203.
- [35] Kang Byoungwan, Lee Byoungwoo, Kang Kyoung Wook, *et al.* [J]. Expert Systems with Applications, 1999, 16(2): 183 - 195.
- [36] Kang Byoungwan, Yoon En Sup, Suh Jung Chul. [J]. Ind Eng Chem Res, 2001, 40(8): 1891 - 1902.
- [37] Johnsson Charlotta, Åsrzén Karl-Erik. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22(12): 1811 - 1828.
- [38] Åsrzen Karl-Erik, Johnsson Charlotta. [J]. ISA Transactions, 1996, 35

- (3):237 - 244.
- [39] Viswanathan Shankar, Johnsson Charlotta, Srinivasan Rajagopalan, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22(11):1673 - 1685.
- [40] Viswanathan Shankar, Johnsson Charlotta, Srinivasan Rajagopalan, *et al.* [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22(11):1687 - 1698.
- [41] Srinivasan Rajagopalan, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22(9):1345 - 1355.
- [42] Srinivasan Rajagopalan, Venkatasubramanian Venkat. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1998, 22(9):1357 - 1370.
- [43] Kang Byoungwan, Shin Dongil, Yoon En Sup. [J]. Control Engineering Practice, 2003, 11(8):871 - 880.
- [44] Simensen Jo, Johnsson Charlotta, Årzén Karl Erik. [J]. Computers and Chemical Engineering, 1997, 21(Suppl):S1209 - S1214.
- [45] Johnsson Charlotta. A graphical language for batch control[D]. Lund, Sweden: Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology.
- [46] Unaikul V, Chan C W, Tontiwachwuthikul P. [J]. Expert Systems with Applications, 2000, 18(4):271 - 282.
- [47] Sun Chi Ki, Uraikula Varanon, Christine W, *et al.* [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2000, 13(4):465 - 475.
- [48] Baeza J A, Gabriel D, Lafuente J. [J]. Water Research, 2002, 36(8):2109 - 2123.
- [49] Lertpalangsunti Narate, Chan C W. [J]. Intelligent Data Analysis, 2000, 4(3 - 4):375 - 393.
- [50] Lertpalangsunti N, Chan C W. [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1998, 11(4):549 - 565. ■

(上接第 159 页)

误差;过失误差为 1 表示检测到过失误差。在以上 2 种情况下,均可以得到较好的数据协调和参数估计结果。第一种情况下,检测到所有测量变量中都没有过失误差。但第二种情况下,除检测到人为引入的 3 个过失误差外,还检测到变量 x_6 中包含过失误差,犯了一个第 I 类错误。但在实际生产中,这类错误对过程监控等不会造成危害,相反,可以有助于一些故障的早期发现、微弱故障的诊断等。

经数据校正后,可以得到与约束方程更为一致的数据以及未测变量的估计值,这些数据可以进一步用于常压塔气液负荷的计算以及操作优化的计算等。在实际应用中,可以尽可能地根据实际的工艺操作条件,给出各股物流流量上下限较为严格的取值,以得到更为可靠的协调结果。

4 结论

由于测量数据中不可避免地包含随机误差和过失误差,因此为了更加有效地利用过程数据,数据校正技术是必不可少的。笔者提出了一种新的在假设

测量误差服从有界正态分布前提下的数据协调和过失误差检测同步算法,在一个工业常压塔上的应用表明了该方法的有效性。这种方法可用于线性约束和非线性约束的情况,现场测量值经数据校正后,与稳态条件更加符合,从而可以为进一步的过程性能分析、操作性能评价以及在线优化等提供更为可靠的依据。该方法也可以应用于石油、化工生产中的其他装置稳态过程的数据校正。

参考文献

- [1] Kuehn D R, Davidson H. [J]. Chem Eng Prog, 1961, 57(6):44 - 47.
- [2] Romagnoli J A, Sánchez M C. Data Processing and Reconciliation for Chemical Process Operations[M]. San Diego: Academic Press, 1999.
- [3] Shankar Narasimhan, Cornelius Jordache. Data Reconciliation & Gross Error Detection: An Intelligent Use of Process Data[M]. Houston: Gulf Publishing Company, 2000.
- [4] Tjoa I B, Biegler L T. [J]. Computers Chem Engng, 1991, 15(10):679 - 690.
- [5] 周江文. 一种有界误差分布[M]. 北京:测绘出版社, 1992. 87 - 89.
- [6] 赵豫红, 顾钟文, 周春晖. [J]. 炼油设计, 1999. 29(11):46 - 50. ■

中国石化荣获“十佳”殊荣

首届“中国十佳上市公司”投资者评选活动结果 6 月底揭晓。50 523 名个人投资者和近百家机构参与了投票,评出了他们心目中最满意的上市公司。中国石化、宝钢股份、中国联通等十个公司荣获“十佳”殊荣。

上海证券报和东吴证券于今年 5 至 6 月发起组织首届“中国十佳上市公司”投资者评选活动。此次评选以个人投资者和机构投资者投票结果各占 60% 和 40% 的权重计算。6 月 25 日,活动主办方联合在上海举行颁奖仪式。