

文章编号: 1001-0920(2005)04-0430-04

可重构制造系统可重构逻辑控制器设计与实现

李 俊, 戴先中, 孟正大

(东南大学 自动控制系, 江苏 南京 210096)

摘 要: 针对可重构制造系统的逻辑控制问题, 提出一种可重构逻辑控制器的解决方案。该逻辑控制器具有递阶分布式的控制体系结构, 并根据模块化的设计思想设计成多个分离的功能模块。然后给出基于 CORBA 组件模型 (CCM) 的可重构逻辑控制器软件的开发过程。由递阶分布式体系、模块化设计和软件组件开发技术实现的可重构逻辑控制器具有快速动态重构的能力, 能满足可重构制造系统逻辑控制的要求。

关键词: 可重构制造系统; 可重构逻辑控制器; 递阶分布式控制体系; 模块化; CORBA 组件模型

中图分类号: TP271

文献标识码: A

Design and implementation of reconfigurable logic controllers for reconfigurable manufacturing systems

L I J un, D A I X ian-zhong, M E N G Zheng-da

(Department of Automatic Control, Southeast University, Nanjing 210096, China. Correspondent: L I Jun, E-mail: xproxyhunter@sohu.com)

Abstract: A solution of reconfigurable logic controllers (RLC) to the problem of logic control for emerging reconfigurable manufacturing systems (RMS) is presented. The proposed RLC processes the hierarchical and distributed control architecture. By the modularity idea, several self-contained functional modules are designed to represent the RLC. Subsequently, CORBA component model (CCM) based development of the RLC software is depicted. The hierarchical distributed architecture, the modular design and software components based development of the RLC can contribute to the rapid dynamic reconfigurability of it. The RLC can meet the needs of logic control for RMS.

Key words: reconfigurable manufacturing systems; reconfigurable logic controllers; hierarchical distributed control architecture; modularity; CORBA component model

1 引 言

1996 年 Koren^[1] 提出了可重构制造系统 (RMS) 的概念, 并指出了 RMS 的 6 个核心特征, 即模块化、可扩展性、可集成性、可转变性、客户定制、可诊断性。为适应这一新的制造模式的控制, 美国密执根大学可重构制造系统工程研究中心 (ERC/RMS) 首先启动了可重构制造系统逻辑控制器的研究, 取得一定的研究成果^[2], 但他们设计的逻辑控制器的缺点在于不能快速动态重构, 且缺乏相关的软件支持技术。国内自 1997 年开始 RMS 的研究, 但

到目前为止, 在逻辑控制方面的研究仍是空白。

本文针对上述情况, 对可重构制造系统逻辑控制器的设计和实现技术进行了重点研究。考虑可重构制造系统的特点和要求, 其逻辑控制器应具有开放的体系结构和动态重构能力, 并能完成制造系统顺序控制任务。这种逻辑控制器称为可重构逻辑控制器。本文结合递阶式和分布式结构的优点, 提出了递阶分布式的可重构逻辑控制器体系结构。在此基础上提出模块化的设计方法和基于 CORBA 3.0 规范的 CORBA 组件模型的可重构逻辑控制器软件开

收稿日期: 2004-06-14; 修回日期: 2004-10-08

基金项目: 国家 973 计划项目 (2002CB312204)。

作者简介: 李俊 (1978—), 男, 安徽和县人, 博士生, 从事制造系统建模与控制等研究; 戴先中 (1954—), 男, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统控制、电力系统控制等研究。

发技术

2 可重构逻辑控制器结构研究与设计

2.1 总体设计

控制系统的体系结构大体上可分为集中式、递阶式和分布式结构。其中从集中式到分布式, 控制系统中各控制实体之间耦合性变弱, 自治能力增强, 控制系统由全局优化趋向于局部优化^[3]。集中式控制结构随着制造系统的复杂性增加, 系统的响应速度变慢, 可靠性和可扩展性变差, 这是其难以克服的主要弊端; 递阶式控制结构比集中式控制结构有所改善, 但仍存在着一些固有缺陷, 如上层故障会造成下层控制的整体瘫痪, 设备布置的改变将影响整个控制系统; 松耦合、强内聚的分布式控制结构又过于理想, 不易实现。因此, 为满足可重构制造系统的要求, 结合递阶式控制结构的层次性和分布式控制系统的自治性, 本文提出递阶分布式可重构逻辑控制器的体系结构, 如图 1 所示。

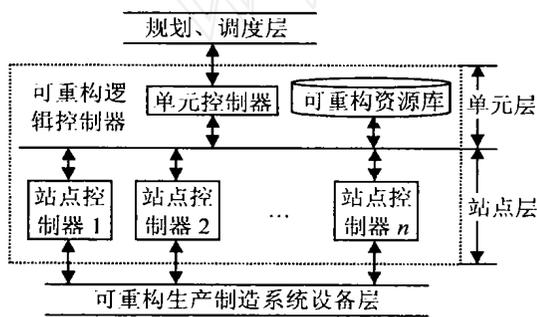


图 1 可重构逻辑控制器结构

该控制器为两层递阶式结构, 即单元控制层和站点控制层。单元层由 1 个单元控制器和 1 个可重构资源库构成; 站点层由若干个站点控制器组成。单元控制层位于规划、调度层和站点控制层之间, 完成协调控制; 站点层具有分布式结构, 其各站点控制器是相互独立且关联的实体, 享有充分的“自治权”; 分布式结构降低了系统的复杂性, 大大提高了系统的可重构性、容错性和可靠性。

模块化设计将系统按功能分解成弱耦合、强内聚的独立功能模块。模块化使得重用已有模块、快速重构新系统成为可能。本文将模块化设计方法作为可重构逻辑控制器设计的核心方法。

2.2 可重构资源库

可重构资源库存储着用于制造系统重构的可重用资源, 它们是以规定文件格式的 Petri 网模块和软件组件等构成。Petri 网逻辑控制模块是实现可重构逻辑控制器控制逻辑重构的核心, 本文采用 Frey 提出的信号解释 Petri 网 (SIPN)^[4]。这里存在 3 个级别的 Petri 网模块, 即系统级、站点级和工序级。

软件组件是实现一定功能的 CORBA 组件。此外, 该库还可存储逻辑控制代码等。可重构资源库可与单元控制器和各个站点控制器交互, 完成对模块和组件资源的添加、删除、修改、复制、浏览等操作。

2.3 单元控制器结构设计

单元控制器按功能分解成 5 个独立功能模块, 如图 2 所示。各单元控制器通过接口与上层、下层、可重构资源库及操作人员交互。首先接收器模块接收上层传递的利用时序图表示的加工工序, 并由解释器实现到整个可重构生产线工序级 Petri 网模型的转变。其次, 由分解器模块将其分解为各个站点的工序级 Petri 网模块, 其间通过引入由中间变量表示的变迁条件来解决工序同步与因果联系的难题。分离的工序级 Petri 网模型可存储到数据库, 以备重用。最后, 各个站点的工序级 Petri 网模块由分派器打包并分派到各相应站点控制器。单元控制器还具有监控器模块, 可监视控制器本身的任务进展情况和下层运行状态, 并实时地向上层报文。

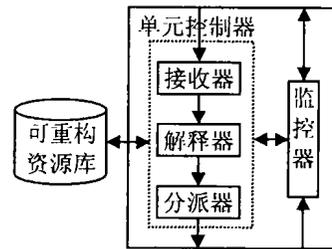


图 2 单元控制器结构

2.4 站点控制器结构设计

站点控制器的结构如图 3 所示。它由接收器、整合器、代码生成器、编译器、下载器和监控器共 6 个功能模块组成。

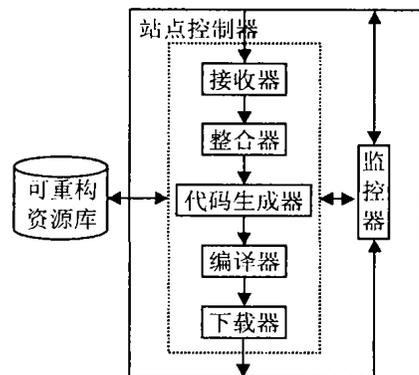


图 3 站点控制器结构

接收器模块接收来自单元控制器的数据包, 并进行解包。由整合器从可重构资源库取出站点级 Petri 网模块, 并将其与来自接收器的工序级 Petri 网模型组合, 构成完整的加工站点控制逻辑表示, 结

果可存储到可重构资源库中。代码生成器将加工站点的 Petri 网所表示的控制逻辑转变为可重构制造系统设备层相应的逻辑控制装置(如 PLC 或 PC)可接受和运行的顺序控制代码,如顺序功能图(SFC)、梯形图(LD)、结构化文本(ST)和 C 语言代码等。这些有效的代码存储到可重构资源库中,并通过编译器编译后,由下载器装载到逻辑控制装置中。在制造过程中经常发生故障等异常情况,必须进行有效的故障诊断和恢复,它由监视器完成。监视器负责对制造系统设备层的状况进行监视,同时也对站点逻辑控制器自身的工作状态进行跟踪,并进行故障的诊断和恢复。监视器通过上层接口向单元控制器报告,当系统发生站点控制逻辑自身无法解决的故障和异常情况时,则需通过人机接口实施人为干预。

3 基于 CCM 的可重构逻辑控制器实现

模块化的设计很容易利用面向对象方法描述,并且可进一步将各模块设计成自主的软件组件,各组件通过标准的接口通信,相互提供服务。当需要对可重构逻辑控制器进行功能扩展时,只需增加新的接口和服务。软件组件技术使得软件开发可像硬件开发一样,通过一些标准模块的组合和部署,实现软件系统的预期功能。

目前存在 3 种比较成熟的组件技术:微软的 COM/DCOM, Sun 的 Java RMI/Beans 组件和 OMG 的 CORBA 组件模型(CCM)技术。COM/DCOM 局限于微软平台;CORBA 组件模型技术与 Java RMI 相似,而且 RMI 与 CCM 正相互靠拢。CCM 是对象管理组织发布的 CORBA 3.0 规范新增内容,是对原有 CORBA 对象模型的扩展,并解决了其部分局限性^[5,6]。组件类型封装了其内部的表示和实现,组件只提供表面特征(端口)与外界实现交互。这样通过定义表面特征和服务,便可在 CORBA 环境下灵活方便地实现管理、配置和部署各组件。CCM 技术本质上是一种客户/服务器模式,提出请求的组件即是客户,而响应其他组件请求以提供服务(操作)的组件则称为服务器。客户(组件)通过具有自省功能的端口机制访问服务器(组件)的端口并获得服务。关于 CCM 规范的详细内容,可参考文献[5]。

CCM 标准保证了更大程度上的软件的重用和重构,使得动态配置 CORBA 更容易。考虑解决平台的异构性,并继承原有的成果,采用 CORBA 组件模型技术开发可重构逻辑控制器软件。CORBA 组件是最基本的软件单元,而组件的基础是对象,因而首先要采用面向对象技术分析系统,设计对象,在此基础上进行基于 CCM 的软件开发。总之,基于 CCM 的可重构逻辑控制器软件开发是将可重构逻辑控制

器的各个功能模块设计成 CORBA 组件,并将它们装配和部署。具体的步骤如下:

1) 使用支持 CCM 标准的开发工具 OpenCCM,将第 2 节所述的逻辑控制器各功能模块设计成 CORBA 组件。首先设计端口,包括面(Facets 也称为 Provided interfaces 提供接口)、支持接口(Supported interfaces)和插座(Receptacles)、事件源(Event sources)事件接收器(Event sinks)和属性(Attributes)。其次需要确定组件之间的交互方式,可使用提供接口或支持接口的紧耦合方式,即通过操作调用完成同步交互;或使用事件源和事件接收器端口的松耦合方式,即通过事件通道(Event channel)为媒介转发事件的异步交互方式。最后编写组件的 DL 文件,经由 DL 编译器生成服务器框架和客户桩。例如,图 4 为站点控制器整合器(Synthesizer)模块的组件表示,其 DL 描述如下:

```
//整合器(Synthesizer)组件的 DL 描述
interface Sup-Interf; //Supported interface 预声明
interface Mod-Composing; //Provided interface 预声明
interface Rect1, Rect2, Rect3; //Receptacles 预声明
eventype evt-type-a, evt-type-b; //定义事件类型
//定义一个 Supported interface
component Synthesizer supports Sup-Interf{
  provides Mod-Composing; //定义 Facet
  uses Rect1, Rect2, Rect3; //定义 Receptacles
  publishes evt-type-a Job-Completed; //定义 Event source
  consumes evt-type-b Recvr-Ready; //定义 Event sinks
  attributes short status; //定义 Attribute
}
```

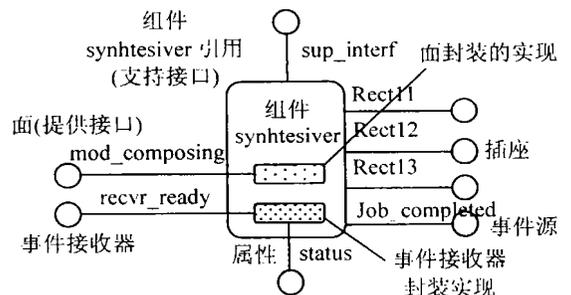


图 4 整合器(Synthesizer)CORBA 组件

2) 编写各组件的 CDL 文件,经过 CDL 编译器生成组件描述和组件 Home 的实现框架代码以及核心行为代码(如导航、一致性检查、激活和状态管理

等),在这个代码框架的基础上,采用Java语言编写应用相关的用户代码

3) 上述过程生成的服务器框架、组件实现框架和组件的用户代码3部分文件经JBuilder X平台生成组件实现文件

4) 利用OpenCCM打包器对1)~3)步生成的文件打包,生成ZIP格式的CORBA组件包和Softpkg描述文件

5) 将生成的单元控制器和站点控制器相应的各组件包及其Home属性文件、组件属性文件经OpenCCM装配工具生成单元控制器组件装配包和站点控制器组件装配包

6) 用Java编写客户端源代码,结合各个组件IDL编译器生成的客户桩生成完整的客户程序

7) 上述所有组件的代码实现并打包后,由OpenCCM部署器进一步将组件装配部署到目标主机,形成实际的可重构逻辑控制器软件系统

4 结 语

本文提出了一种递阶分布式的可重构逻辑控制器体系结构,并采用模块化设计和基于CORBA组件模型的软件实现。该逻辑控制器可满足可重构制造系统对逻辑控制的要求,能组织制造系统快速重构,也可方便地与CAD和CAPP等制造

系统软件集成起来。进一步的研究将着重基于Petri网的可重构装配系统逻辑控制建模、分析、优化的理论和方法

参考文献(References)

- [1] Koren Y, Heisel U, Jovane E, et al. Reconfigurable manufacturing systems [J]. *CRIP Annals-Manufacturing Technology*, 1999, 48(2): 527-540
- [2] Park E, Tilbury D M, Khargonekar P P. A modeling and analysis methodology for modular logic controllers of machining systems using Petri nets formalism [J]. *IEEE Trans on System Man and Cybernetics*, 2001, 31(2): 168-186
- [3] 涂序彦. 大系统控制理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994
- [4] Frey G. Design and formal analysis of Petri net based logic control algorithms [D]. Germany: Institute of Process Automation, 2002
- [5] Object Management Group. CORBA components [EB/OL]. <http://www.omg.org/technology/documents/corba-spec-catalog.htm>, 2002, 6
- [6] Wang N, Schmidt D C, O'Ryan C. Overview of CORBA component model [EB/OL]. <http://www.cs.wustl.edu/~schmidt/PDF/CBSE.pdf>, 2000

(上接第429页)

5 结 论

本文讨论了基于插值评价的实数编码遗传算法,即利用父代个体的适配值通过插值快速估计后代个体的性能,以减少评价环节的计算量,提高算法的搜索效率。基于典型模型降阶和参数估计问题的研究表明,本文方法是解决评价费时优化问题的一种高效方法

参考文献(References)

- [1] Hwang C, Hwang J H. A new two-step iterative method for optimal reduction of linear SISO systems [J]. *J of Franklin Institute*, 1996, 333(5): 631-645
- [2] Jiang B, Wang B W. Parameter estimation of nonlinear system based on genetic algorithms [J]. *Control Theory and Applications*, 2000, 17(1): 150-152
- [3] Astrom K, Hagglund T. *PID controllers: Theory, design and tuning* [M]. New York: ISA, 1995

- [4] Li L L, Wang L, Zheng D Z. Optimal reduction of models based on a class of SM-SA strategy [J]. *Control and Decision*, 2004, 19(8): 947-950, 953
- [5] Cheng S L, Hwang C. Optimal approximation of linear systems by a differential evolution algorithm [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics-A*, 2001, 31(6): 698-707
- [6] Wang L, Li L L, Zheng D Z. A class of effective search strategies for parameter estimation of nonlinear systems [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2003, 29(6): 953-958
- [7] Wang L, Li W F, Zheng D Z. Estimating model-parameter and tuning controller-parameter by a class of hybrid strategy [J]. *Control and Decision*, 2001, 16(5): 530-534
- [8] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001