

6-4-2020

Meta Modeling Methodology for CNC System

Suhua Xiao

College of Electromechanical Engineering, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510635, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Meta Modeling Methodology for CNC System

Abstract

Abstract: *Methodology development of CNC system takes the field as a carrier centric model, which applies UML / OCL in GME for CNC system meta-modeling. For the field characteristic analysis for CNC, a CNC field oriented CNCVFC meta-modeling methodology was proposed, which combined the view, feature, component three-dimensional relationship. According to field characterization CNC members and interactions, multi-view approach captures features CNC field was adopted, which mapped to the appropriate view plane to establish the appropriate view of the container field meta-model, CNC elaborated meta-modeling process, including structural meta-modeling, function meta-modeling and non-functional meta-modeling of three areas. A lathe CNC system model was used as an example to verify the correctness of the meta-modeling methodology and modeling process for the CNC system customization and rapid development which provided a new methodology.*

Keywords

CNC, meta-modeling, feature, component, real-time

Recommended Citation

Xiao Suhua. Meta Modeling Methodology for CNC System[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(6): 1186-1192.

计算机数控系统元建模研究

肖苏华

(广东技术师范学院机电学院, 广东 广州 510635)

摘要: 采用领域为载体、模型为中心的方法开发计算机数控系统, 使用 UML/OCL 在通用建模环境工具中对 CNC 系统进行元建模。针对数控领域进行特性分析, 提出了一种面向 CNC 系统领域的 CNCVFC 元建模方法, 采取多视角的方式捕获 CNC 领域的特征, 依据特征描述 CNC 领域构件及其交互关系, 并映射到相应的视图平面, 以视图为容器建立相应的领域元模型。该方法融合了视图、特征、构件三维关系。阐述了 CNC 元建模的过程, 包括结构元建模、功能元建模及非功能元建模三个方面。以一个车床 CNC 系统的模型应用为例验证了 CNC 元建模方法及建模过程的正确性, 为 CNC 系统的个性化定制和快速开发提供了新的方法。

关键词: 计算机数控系统; 元建模; 特征; 构件; 实时性

中图分类号: TH128 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2017)06-1186-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201706004

Meta Modeling Methodology for CNC System

Xiao Suhua

(College of Electromechanical Engineering, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510635, China)

Abstract: Methodology development of CNC system takes the field as a carrier centric model, which applies UML / OCL in GME for CNC system meta-modeling. For the field characteristic analysis for CNC, a CNC field oriented CNCVFC meta-modeling methodology was proposed, which combined the view, feature, component three-dimensional relationship. According to field characterization CNC members and interactions, multi-view approach captures features CNC field was adopted, which mapped to the appropriate view plane to establish the appropriate view of the container field meta-model, CNC elaborated meta-modeling process, including structural meta-modeling, function meta-modeling and non-functional meta-modeling of three areas. A lathe CNC system model was used as an example to verify the correctness of the meta-modeling methodology and modeling process for the CNC system customization and rapid development which provided a new methodology.

Keywords: CNC; meta-modeling; feature; component; real-time

引言

以模型、领域为中心的开发方法被视为复杂系



收稿日期: 2016-04-18 修回日期: 2016-09-07;
基金项目: 国家自然科学基金(2154101), 广东省特色
创新项目(2016KTSCX075), 广东省公益研究项目
(2016A010102018);
作者简介: 肖苏华(1976-), 男, 湖南隆回, 博士, 副
教授, 研究方向为计算机数控建模、增材制造。

统的有效开发方法, 特定领域建模(DSM)方法突出领域元模型对整个领域特性的规约, 应用模型贯穿于整个开发过程中^[1-4]。模型不仅仅是需求的体现, 更具备领域内的语法语义, 能实现模型验证和代码生成。计算机数控系统(CNC)具备了领域的稳定性和扩充性特性, 采用 DSM 的 CNC 开发方法是可行的。DSM 开发方法包括元建模、用户建模、模型验证以及代码生成四个阶段。在整个开发过程

<http://www.china-simulation.com>

• 1186 •

中, 元模型^[5-6]的构建是整个系统开发的基础, 合理的元模型为后续的应用模型搭建、模型验证以及代码生成提供了可能^[7]。

CNC 领域元建模是针对 CNC 领域进行抽象的过程。由于不同领域具备不同的共性和可变性, 因此针对不同领域的元建模方法都有一定的差别, 如何捕获领域的特征并转化为元模型成为 DSM 方法中的关键点之一。元模型的构建主要针对 CNC 系统体系结构(包括开闭环方式、软硬件平台)、结构元模型(包括 CNC 软件系统的结构)、功能元模型(包括运动控制、逻辑控制等功能单元)、非功能元模型(包括 CNC 系统的实时性描述)等。

元建模采用 UML/OCL 语言, 对 CNC 领域进行抽象描述, 所构建的 CNC 领域元模型定义了 CNC 领域建模语言的词法、语法以及静态语义, 由元模型解释器转换成计算机数控系统领域建模语言。

在针对 CNC 领域共性(包括硬件平台、操作系统、功能划分、非功能要求)以及 CNC 领域可变性的基础上, 本文给出一种融合视图、特征、构件(VFC, Views Features Components)的 CNC 系统元建模方法, 并依据该方法进行 CNC 领域元模型的构建。

1 CNC 系统 VFC 元建模方法

DSM 开发具有共性的总体流程, 但是不同领域都具备相应的领域特征。因此在针对特定领域进行开发时, 首先要充分捕获领域的特点和关键所在。领域分析和元建模方法的映射关系如表 1 所示, 表的左列为领域分析的内容, 右列为元建模方法所映射的元素或元素的组合。

1.1 定义

CNC 系统 VFC 元建模方法: CNCVFC (CNC Views Features Components), 即视图—特征—构件的元建模方法。采取多视角的方式捕获 CNC 领域的特征, 依据特征描述 CNC 领域构件及其交互关系, 并映射到相应的视图平面, 以视图为容器建立相应的领域元模型。该领域元模型描述了 CNC 领域中构件及其交互和组合, 包括 CNC 系统的平台

架构、软件结构及行为、系统的功能和非功能属性的规约。CNCVFC 建模方法元组表示为: CNC Meta-modeling Methodology={Views, Features, Components}, 其中 View 表示视图集合, Features 代表特征集合, Components 表示构件集合。

表 1 CNC 领域分析和 VFC 元建模方法的对应
Tab. 1 Domain analysis and VFC meta-modeling

领域分析内容	VFC 元建模方法
系统总体	系统架构视图、系统特征
操作系统	系统架构视图、操作系统特征
硬件平台	系统架构视图、硬件平台特征
PLC 模块	PLC 功能子视图、PLC 特征
人机交互模块	HMC 功能子视图、HMC 特征集
运动控制	运动控制功能非功能子视图、MC 特征
功能块	功能块子特征、构件

方法如图 1 所示, 立方体代表 CNC 领域空间, 系统的视角分别为结构视角、系统视角以及功能非功能视角, 从这些视角出发捕获 CNC 领域特征, 可形成结构视图、系统视图及功能非功能视图。以视图为容器进行元模型构建。

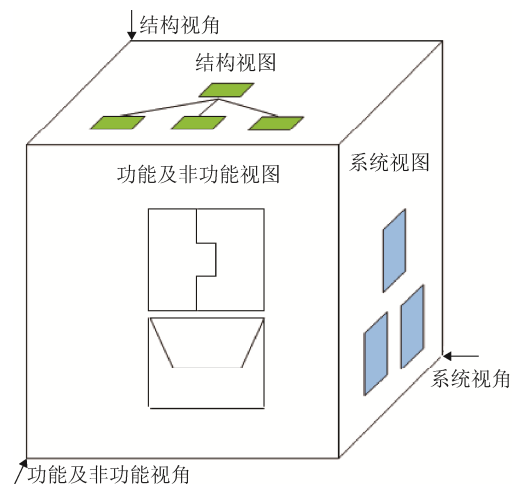


图 1 CNC 系统 VFC 元建模方法
Fig. 1 Meta modeling methodology for CNC

1.2 视角(Angle View)及视图(View)

视角是指从不同的角度出发来观察和剖切领域空间, 是 CNC 领域分析的依据, 并和视图形成一一映射关系。视图是领域的一个片段或者切片, 是从不同视角出发得到领域空间的区域投影平面, 在元建模过程中是基于领域特征对特定领域中元

素和部件的装载容器。

多视图(Multi-View): 多视图是视图的集合, CNC 系统的多视图表示为 {SystemView, StructView, FunctionNon-functionView}。依次为系统视图, 结构视图, 功能及非功能视图, 如图 1 所示。

CNCVFC 方法中视图包括元模型和模型两个层次。对于元模型层, 视图是从不同层面对领域规约的方式; 对于模型层, 视图展示的是 CNC 领域规约的结果。系统视图装载 CNC 系统组成描述的(元)模型, 如 CPU, 通讯方式, 操作系统, 内存资源, CNC 开闭环形式, PLC 以及 I/O 端口定义等。结构视图装载系统人机交互控制软件的结构元模型。功能视图和非功能视图中规约的是 CNC 构件的功能和非功能特征以及构件交互的关系, 包括运动控制以及 PLC 控制子视图。

1.3 特征(Feature)

特征是 CNC 领域多视角捕获的结果, 是领域内构件和系统的固有属性。特征集合的元组表示为: Feas= {Feature1, Feature2, ... Featern}。

CNC 系统的特征集合由功能性特征和非功能性特征组成。功能性特征捕获 CNC 系统以及构件的可用性。非功能特征包括实时性、可靠性。如插补构件具备周期、优先级等实时特征。由此, CNC 领域元模型通过有效表达功能需求特征和非功能需求特征, 全面地描述系统信息。

1.4 构件(Component)

构件是指可以重用的、以构造其它系统的单元, 构件的粒度可大可小。广义的构件包括函数、类、独立的功能模块、子系统等, 狭义的构件指采用构件模型标准建立的模块。

计算机数控系统构件模型(CNC Component Model, CNCCM)元组表示为 CNCCM={Ports, Events, Attributes}。Ports 表示端口的集合, 元组表示为 Ports={Inports, Outports}, 分别代表输入和输出端口集合。Events 表示事件的集合, 元组表示为

Events={Provided, Publisher}, Provided 和 Publisher 分别代表请求及发布的事件。Attributes 代表构件属性描述, 元组表示为 Attribute= {FunctionAttribute, None-function Attribute}。其中非功能属性元组表示为 None-function Attribute= {Period, WCET, Priority, DeadLine}, 分别代表构件的任务周期、最坏执行时间、优先级和死期等时间属性。

2 CNC 系统元建模

2.1 结构元建模

结构元建模是在结构视角下捕获 CNC 系统软件的结构特征, 针对人机交互单元进行元建模。

1) 人机界面控件元建模

人机界面控件元素是指 CNC 系统界面中所展示的最小单元的内容元素, 一般由静态数据、动态数据、按键以及图形组成。组成这些元素的控件包括静态文本框(Static)、编辑框(Edit)、按钮(Button)、列表框(ListBox)等。元建模必须规约控件元素的属性。

图 2 所示为按钮控件的元模型, 其中 FontSize 描述按钮上文字的字体大小, Caption 描述的是按钮上文字的内容, FontColor 描述的按钮上文字的字体颜色, BackgroundColor 描述按钮的背景色, Width 和 Height 分别描述的是按钮的长度和宽度属性。

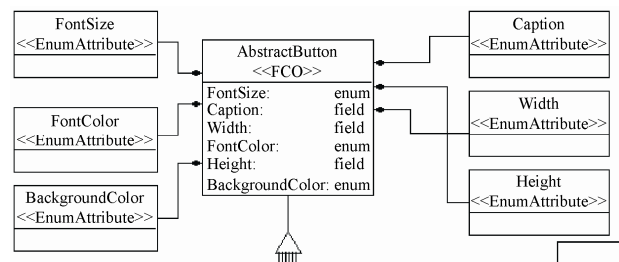


图 2 抽象按钮元模型
Fig. 2 Abstract Button Meta-model

图 2 所示的按钮元模型给出的是按钮最顶层的抽象描述, CNC 系统里常用的按钮以及事件都继承自该按钮, 如坐标操作按钮、文件管理按钮等。静态文本框(Static)、编辑框(Edit)、列表框(ListBox) 分别用于显示系统状态信息、数控程序编辑以及数

控程序加工显示, 此三类控件具备相同的特点, 即和 CNC 系统的数据流或信息流有关, 因此均继承同一个抽象基类对象。

2) HMI 人机界面元建模

CNC 系统按照界面划分一般分为位置(Position)、程序(Program)、偏置(Offset)、参数(Parameter)、诊断(Diagnose)以及图形(Graphic)六种界面, 按照操作模式一般分为手动(Hand)、手轮(HandWheel)、回零(Zero)、录入(MDI)、编辑(Edit)以及自动(Auto)六种模式。界面和模式之间可以实现任意的跳转关系, 且界面之间、模式之间也可以实现任意的跳转关系, 目的是提高 CNC 系统操作的方便性。通过分层的状态机来实现状态的变化, 包括界面和模式之间的跳转逻辑关系、界面之间的跳转以及模式之间的跳转关系。

3) HMI 中行为建模

人机界面下隐藏着系统交互时产生的事件行为, 并调用相应的函数和子功能块。动态行为元建模的方法包括: 基于 HFSM 分层状态机的界面及模式状态变换; 按钮事件关联了相应的构件或功能块。

2.2 功能元建模

CNC 功能元建模是在功能视角下捕获功能特

征进行元建模, 包括运动控制模块元建模以及逻辑控制模块元建模两大部分。运动控制模块可以划分为轴组管理、轴控制和伺服控制三个流程。

图 3 描述的是开放式运动控制模块通用的结构, 包含了运动控制在软件结构和基本功能上的共性特征。然而, 对于不同的具体应用, 实现轴组管理、轴控制及伺服控制所采用的算法则有可能不同。例如, 对于数控车床的应用, 实现运动规划的算法可有直线插补、圆弧插补等插补算法, 并且采用梯形速度控制算法就足以满足一般的加工要求。除此之外, 根据不同的精度和速度需求, 伺服控制也可以通过相应的算法实现。

图 3 中 NCCControl 代表的是运动控制的模块实体(Model), 包括 AxisManager(轴组管理)、AxisControl(轴控制)、ServoControl(伺服控制)三个模块实体。AxisGroup2Axis、SC2AC 以及 AxisConn 是运动控制整体层次里的联系(Connection), 规约的是三个模块实体(也可视为构件)之间的交互关系。其中 AxisGroup2Axis 代表的是轴组管理和轴控制之间的交互关系, SC2AC 代表的是伺服控制和轴控制之间的交互关系, AxisConn 代表的是轴控制和轴之间的交互关系。

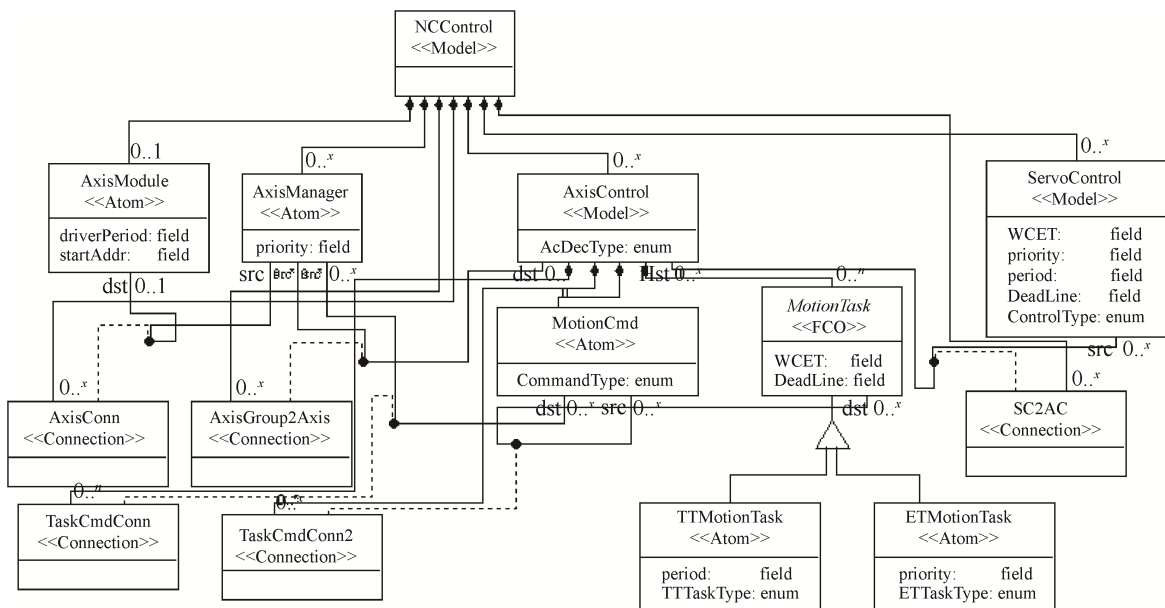


图 3 运动控制整体元模型

Fig. 3 Motion Control Meta-model

<http://www.china-simulation.com>

• 1189 •

轴组管理构件的功能是管理协调一个或多个轴进行运动，如单个轴的回零或单步运动，两轴同步的直线插补或圆弧插补运动，三轴同步的空间曲线插补运动等等。

轴控模块包含了 MotionCmd(运动命令)原子、MotionTask(运动任务)以及相应的构件关系的描述规约。轴控模块对插补等类型规约了其加减速的方式。AxisControl 具备 AcDecType(加减速类型)的属性规约，而加减速类型是 Enum 枚举型，分为：T 型，S 型以及 EX(指数)型。默认的属性为 T 型加减速方式。轴控构件的任务 MotionTask 分为时间触发任务 TTMotionTask 和事件触发任务 ETMotionTask 两种，时间触发任务具备插补算法类型(InterpolationType)的枚举属性，表示采用的插补算法类型。

在伺服控制构件中，除开实时属性的规约，还有控制类型(ControlType)的属性，该属性是个枚举(Enum)属性，包括有三种可选类型：PID、Fuzz 和 Other，分别表示采用 PID 控制、模糊控制或其他控制规律，默认为 PID 控制方法，PID 的属性由 HMC 模块中参数设置中元建模，其值在用户建模中可以通过参数设置进行配置。

PLC 模块主要包括两部分内容：逻辑控制(SM_LogicCtrl)和 I/O 点(SM_IOPoint)，前者负责相关的辅助控制，如主轴启动与正反转、换刀以及润滑冷却等功能，后者负责对传感器状态或 I/O 中断进行监控，对 I/O 端口状态进行实时反馈，如急停检测、轴限位和回零传感器检测等。

2.3 非功能属性要求元建模

CNC 非功能属性元建模是在非功能视角下捕获非功能特征进行元建模。本文主要针对 CNC 系统的实时性进行元建模。CNC 领域的构件实时特征可以分为三类：非实时构件，弱实时构件，强实时构件。弱实时构件主要在 HMC 模块，强实时构件主要分布在运动控制领域。

1) 实时性规约

CNC 系统软件中，任务(Task)是构造系统的基

本单元，CNC 系统的任务和 CNC 构件存在着映射关系。映射方式主要有三种：(1) 将多个构件映射成一个任务，如 CNC 自动模式下程序代码的连续加工，涉及到多个构件的交互组合，包括代码编译、半径补偿、轴组管理、插补、伺服控制、状态显示等。(2) 一个构件映射成多个任务，(3) 每个构件映射为一个任务，如轴组管理和伺服控制构件都能单独映射为任务。

元模型中对运动控制模块中相关构件(如轴组管理、轴控制构件、伺服控制构件等)的实时特征以及其交互组合关系的描述是 CNC 系统实时属性规约的主要内容。定义 MotionTask 为运动任务，TTMotionTask 和 ETMotionTask 是从 MotionTask 继承的两种形式，分别表示时间触发运动任务和事件出发运动任务。时间触发任务有插补、伺服控制等，事件触发任务有回零、停止等任务。图 4 为运动任务构件非功能属性规约图，运动任务都具备优先级 priority 的属性规约。另外时间触发运动任务属性由 Period、WCET 以及 DeadlinePeriod 规约，分别代表任务周期、最坏执行时间以及死期。Period 主要针对时间触发的强实时循环任务，对其时间触发周期进行设定，如插补计算的周期，轴控制任务的采样周期等。Priority 是一个枚举(enum)属性，具有三个与平台无关的可选级别：High、Middle 和 Low，可根据底层操作系统提供的优先级类型进行平台相关的映射。WCET 是一个与平台相关的属性，同一个计算任务在不同的平台的最坏执行时间是不同的，可通过工具获取这些属性值。

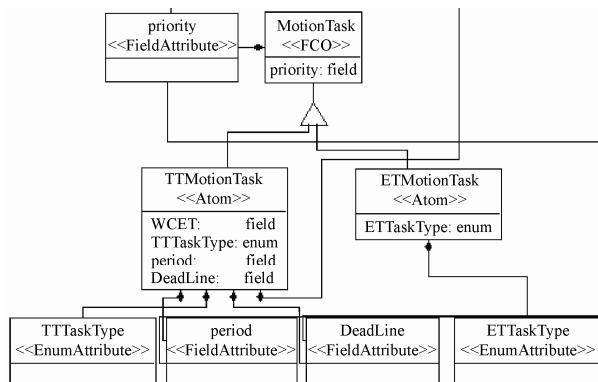


图 4 运动任务的实时属性规约
Fig. 4 The Real-time Attribute of Motion Task

2) 任务同步与并发描述

CNC 系统中的任务同步与并发是指各种运动形式之间的关系,其中同步是指运动轴之间的运动步调一致,具有固定的先后顺序和比例关系,并发是指同时执行多种运动形式。通过将各种运动算法模块内聚于轴控构件内来实现运动的并发。例如,某个运动控制过程需要实现第一轴和第二轴进行直线插补运动的同时,第三轴进行连续运动。这两个运动的并发行为由轴控构件内部的逻辑功能模块在同一个周期内依次调用直线插补模块和位控式运动模块来实现,虽然这两个调用具有先后顺序关系,但先后相隔的时间很短(在同一个任务周期内),因此这两个运动过程在宏观的表现上是并行的。

元模型对同步的描述采用同步的关联(Connection),通过该关联来规约 AxisModule 即运动轴的同步关系。

3 示例

CNC 领域元模型一经确定,即可由元模型解释器生成 CNC 系统建模语言,具体可表现为图形化的可视 CNC 领域开发环境,如图 5 所示。

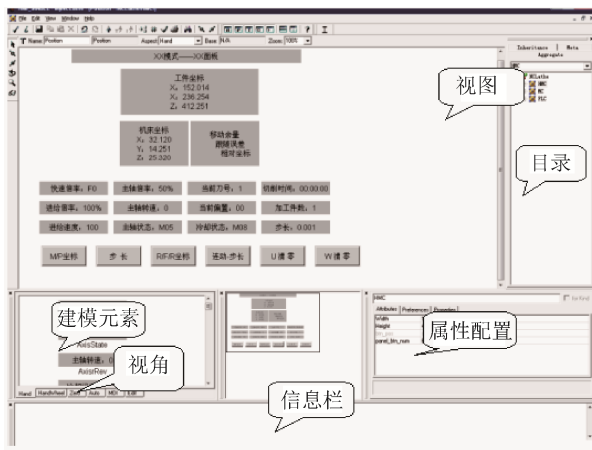


图 5 CNC 领域开发环境

Fig. 5 Modeling Environment of CNC

应用模型的设计是基于所生成的开发环境,分别在系统视图、结构视图和功能非功能视图中,按照应用系统的平台要求和功能非功能需求,组织 CNC 领域构件元素,并配置其属性。

图 6 为二轴车床数控系统的运动控制模型图。描述了数控系统的运动控制部分。AxisManager(轴管理构件)对运动任务进行管理并映射到相应的轴组或单轴上; Line2D(直线插补)、Arc2D(圆弧插补)、StepMotion(连续运动)等表示为插补或命令类型; TSK_Go_Home(回零)等矩形图表代表事件触发的运动任务; TSK_Line2D_Motion(二维直线插补任务)、TSK_Arc2D_Motion(二维圆弧插补任务)表示时间触发的运动任务。

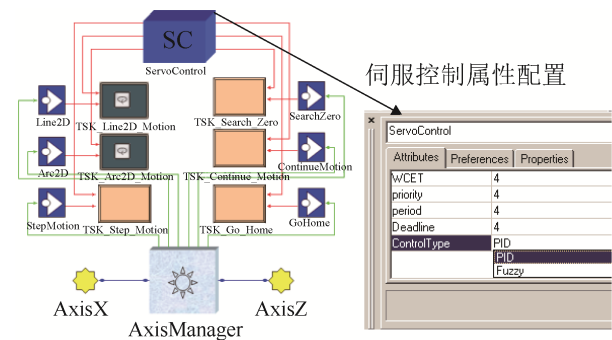


图 6 闭环车床数控运动控制模型

Fig. 6 Motion Control Model of Close Loop Lathe System

轴组管理针对代码或按键指令进行轴组的分配,并输入到轴控构件;轴控构件进行速度、加速度规划,并启动相应的算法模块;伺服控制实时采集检测装置的相关信息,进行误差补偿计算并返回到轴控构件。图 6 定义了伺服控制的属性,包括采样周期、PID 误差补偿算法等。

经过验证后的模型可通过模型解释器自动生成目标平台下的源代码,并编译生成最终的应用系统,如图 7 所示。

应用所开发的车床数控系统在示的车床上对图 7 所示的阶梯轴数控程序进行加工测试,相关参数如下:

主轴转速: 800 r/min;

G71 复合循环进刀量: 2 mm;

G71 复合循环退刀量: 1 mm;

进给速度: 120 mm/min;

毛坯材料及尺寸: 尼龙棒, 直径 30 mm;

刀具: 90L 弯头车刀。

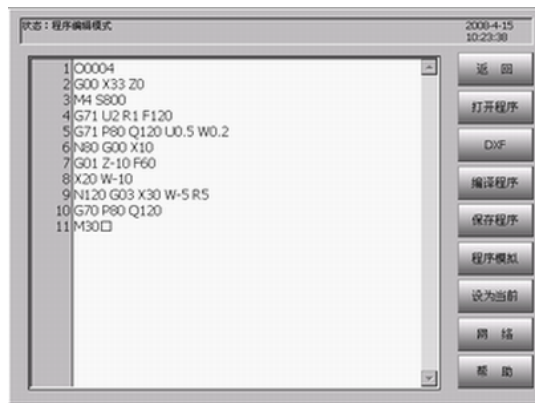


图 7 车床数控系统界面
Fig. 7 Interface of Lathe CNC

加工实物如图 8 所示。



图 8 加工零件照片
Fig. 8 Product Photo

4 结论

通过通用建模环境,使用 UML/OCL 语言,在针对计算机数控领域分析的基础上,得到领域的共性单元,提出了一种 CNCVFC 元建模方法,解释了方法的内涵。采用该方法,对计算机数控领域进行了元建模研究,并针对结构、功能、非功能几个部分进行了元建模。最后,以一个车床数控系统的模型搭建进行了示例并加工测试,结果表明:用户建模过程简单灵活;人机交互能实现“所见即所得”的效果;建模元素库完善。

因此,论文验证了 CNC 系统元建模方法及过程的正确性,为 CNC 系统的个性化定制和快速开

发提供了新的方法,为 CNC 系统的模型驱动、领域中心开发方法提供了探索,并实现了 CNC 系统的开放、重构特性。

参考文献:

- [1] 张鸿喜,张静瑜,张志勇,等. 基于元建模的雷达电子战仿真语言研究与应用 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(2): 269-274. (Zhang Hong-xi, Zhang Jing-yu, Zhang Zhi-yong, et al. Research and Application of Radar EW Simulation Language Based on Meta-modeling [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2012, 24(2): 269-274.)
- [2] 刘洁,王凯,柏彦奇. MDA 中平台无关模型的抽象表达方法研究 [J]. 兵工自动化, 2008, 27(1): 49-51. (Liu Jie, Wang Kai, Bai Yan-qi. Abstract Method of MDA Platform Independent Model [J]. Ordnance Industry Automation, 2008, 27(1): 49-51.)
- [3] 何啸,麻志毅,邵维忠. 一种面向图形化建模语言表示法的元模型 [J]. 软件学报, 2008, 19(8): 1867-1880. (He Xiao, Ma Zhi-yi, Shao Wei-zhong. A Metamodel for the Notation of Graphical Modeling Languages [J]. Journal of Software, 2008, 19(8): 1867-1880.)
- [4] Xiang Wei, Xinzhan Qi, Limin Zhang. Designing for Architecture of Complicated Military Training Simulation System Based on Model-Driven [C]// 2011 International Conference on Computer Science and Service System. United States: IEEE Computer Society, 2011: 2197-2200.
- [5] 刘辉,麻志毅,邵维忠. 元建模技术研究进展 [J]. 软件学报, 2008, 19(6): 1318-1327. (Liu Hui, Ma Zhi-yi, Shao Wei-zhong. Progress of Research on Metamodeling [J]. Journal of Software, 2008, 19(6): 1318-1327.)
- [6] 卫翔,张立民,齐新战. 基于元建模的通用舰艇指控仿真模型驱动引擎设计 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1919-1929. (Wei Xiang, Zhang Li-min, Qi Xin-zhan. Design of General Warship Command and Control System Simulation Model Driven Engine Based on Metamodeling [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2013, 25(8): 1919-1929.)
- [7] 肖苏华,李迪. 一种面向计算机数控领域的建模语言 [J]. 机床与液压, 2011, 39(15): 106-109. (Xiao Suhua, Li Di. A Modeling Language for CNC System Domain [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2011, 39(15): 106-109.)