

架构和面向对象技术在 PLC 软件开发中的应用

马殷元, 蒋兆远

(兰州交通大学 机电技术研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为降低开发实时多任务控制系统 PLC 软件的复杂性、提高软件开发效率和质量,把架构和对象技术引入了 PLC 软件开发。结合对象技术和控制系统特点,强调了抽象对象的概念,提出了被控对象和控制器对象分离的思想,指出了对象技术的适用范围,设计了 PLC 控制软件架构的结构模型和控制风格。该模型中单元机器级应用对象技术,在单元机器控制软件内部应用面向任务分析与设计方法,并在一个分布式输送机组的控制软件中实现了该模型。

关键词:软件架构; 面向对象; 可编程控制器; 控制软件; 软件开发

中图分类号: TP311.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2011) 05-1849-04

Architecture and object-oriented software technology in development of PLC software

MA Yin-yuan, JIANG Zhao-yuan

(Institute of Mechatronic Technology, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To reduce the complexity in developing PLC software for real-time multitask control system, a systematic approach is proposed, which adopt O-O (object-oriented) and SA (software architecture) technology in PLC software. Concept of abstract object, which is not straightforward in previous literature about software engineering, is stressed. It is also stressed that the controller and the controlled object should be treated and designed as two objects. The limitation of the O-O technology is discussed. A systematic PLC program development methodology is proposed, which adopts SA, O-O and task-oriented technology in system level, unit machines level and inside level of unit machines. The methodology is demonstrated by design of the control software for a material handling system, which requires the system with the characters of path-configurable transporting, multi-site processing and information tracing. The PLC software employed pipe and filter model as its architecture. The pipe and filter model is adapted at its sub layer according to object-oriented method.

Key words: software architecture; object-oriented; PLC; control software; software development

0 引言

PLC 技术是工业自动化的 3 大技术支柱之一。在国内对 PLC 软件开发技术的研究却较少。几乎没有同时使用这两种语言的程序员^[1]。以至于这两方面的交叉研究也较缺乏。复杂的工业过程控制系统一般都是实时多任务系统。这些系统的 PLC 控制软件一般由控制工程师开发,他们常缺乏最新的软件工程的理论。这制约了 PLC 软件开发效率和质量的提高。研究和开发人员在软件架构 (software architecture, SA) 技术和面向对象 (O-O) 软件技术上已经取得了很多成果,并促使了软件生产的效率和质量的提高^[2]。面向对象的系统分析与设计技术在一般信息系统系统的开发中应用已经较多。系统化的 PLC 控制软件开发方法却没有在实际中得到广泛应用^[3-4]。PLC 系统是工业应用中一个典型的嵌入式实时系统,研究已经表明 O-O 技术适合于实时系统建模和开发^[4]。但应用在 PLC 软件中,应用 O-O 技术的实例仍然较少。

文献[3]中提出了模型驱动的机床 PLC 软件开发过程。建

议采用顺序图建立机床高层模型,建议采用状态图建立机床行为模型。文献[3]主要关注系统开发过程。在 PLC 控制软件高层建模和实现细节方面研究介绍并不深入。一些文献提出了利用 PLC 的梯形图语言中的功能块 (FB) 和数据块 (DB) 结合实现面向对象编程。但对于对象应用的范围没有分析说明,对于对象内部的实现方法也没有提及。一些后期的文献并没有在深度和广度上对面向对象技术在 PLC 中的应用有所扩展,提供的例子也都比较简单。不少文献还存在对抽象对象认识不清、系统分析不彻底的问题。也就是没有把被控对象和控制器对象分离的问题。

在软件工程领域,系统化地使用 SA 来指导开发,尚缺乏行之有效的的方法和案例^[2]。SA 技术在 PLC 软件开发中应用更为少见。本文把 SA 技术引入 PLC 软件开发,以期为该领域开发提供一个范例。正如文献[5]所述“为工业软件设计体系结构时,必须将纯的体系结构风格改造成专用风格来满足特定领域的需求”,本文在一个输送机组控制系统 PLC 软件开发中应用了管道过滤器架构^[5],并对管道过滤器架构做了局部的面

收稿日期: 2010-05-25; 修订日期: 2010-07-26。

作者简介: 马殷元 (1973 -), 男, 甘肃民勤人, 博士研究生, 副教授, CCF 会员, 研究方向为大型分布式自动化系统; 蒋兆远 (1954 -), 男, 甘肃兰州人, 博士, 博士生导师, 研究方向为企业信息化、装备信息化。E-mail: 779484559@qq.com

向对象的改造。本文的设计方法在系统底层对象的分析与设计方面与文献[3]相似,但文献[3]在系统架构方面关注较少,本文提出了更高层次上的软件架构的设计,提供了更多实现细节。文献[8]提出了一种实时软件框架,适用于系统分析,对系统实现帮助不大。

1 抽象对象

1.1 对象和面向对象

对象可以是人们要进行研究的任何事物,它不仅能表示具体事物,还能表达抽象的规则、计划或事件。O-O思想提倡从现实世界中客观存在的事物(即对象)出发来构造软件系统,并在系统构造中尽可能运用人类的自然思维方式,强调直接以问题域(现实世界)中的事物为中心来思考问题,认识问题,并根据这些事物的本质特点,把它们抽象地表示为软件系统中的对象,作为系统的基本构成单元。

1.2 抽象对象

面向对象的分析设计过程是对相关“对象”的发现和设计过程,系统涉及的“对象”大部分可以与现实世界中具体事物相对应,它们比较容易发现^[7]。关于抽象对象的发现和设计较少有文献明确提出。这造成了入门者在系统分析与设计中“抽象对象”的忽略和系统分析与设计的困境。

“抽象对象”是指那些并非具体事物的对象,它们实现一定的功能,如控制、通信、转换等功能。与抽象对象对应的是实体对象。抽象、封装、共享是面向对象的基本要素。对象和类的设计需要抽象思维。抽象对象的分析与设计,在思维上需要完成从形象到抽象的二次跨越。《设计模式:可复用面向对象软件的基础》被称为面向对象领域里程碑式的成果。该书作者总结提炼出了一系列抽象对象的设计方法,从而把面向对象技术推向一个更高的水平。可以说,该书中很多模式的本质是:一种抽象对象的设计与应用方法。装饰器、代理、桥接器、生成器等都可以看成是抽象对象。以“装饰器模式”为例,该模式涉及“如何设计一个装饰器对象”的问题。“装饰器对象”可在已有的对象中动态的加入新功能。多个装饰器可实现多个不同装饰功能的任意组合。“装饰器”对象本质上是一个功能,它自身不保留数据。“被装饰对象”以参数的形式传入装饰器对象。这一点与一般对象的形式——包含数据和方法——不同。

在一些控制系统的开发中,开发者建立的系统模型没有分离被控对象和控制器对象,把被控对象的行为和控制器的功能相混淆,系统分析不彻底。这种系统分析的不彻底造成控制系统模型难以实现。电梯系统的建模是很多软件工程文献常讨论的一个例子。一些文献中介绍了采用不同方法建立的电梯控制系统模型。包括:改进的UML模型、面向对象的模型等。建模的目的是辅助控制系统设计,但不少模型只是对电梯系统的行为进行了直观的描述性建模。若用于仿真,这些模型还勉强有用,但用于控制系统设计和实现,这些模型就没有什么帮助。

用于控制系统设计或电梯仿真,应该从电梯系统顶层分析出原电梯和电梯控制器2个对象。它们之间有相对不变的接口,二者也可相对独立地变化。这种思维在控制系统设计

中很自然——控制器和被控对象是2个独立的实体。原电梯可以是真实的电梯或软件模拟的电梯。在控制系统早期开发阶段,经常用软件模拟电梯代替真实电梯,以节约成本和降低风险。这种方法是控制系统设计常用的方法,也符合O-O的封装和低耦合的思想。

1.3 对象技术的范围和对象内外

控制系统经常是在资源有限的嵌入式系统上实现,一般有实时性要求。同时受限于编译器等原因,类的继承等高级O-O技术的实现还比较困难,一些O-O高级技术对于控制系统开发也不是必要的。

对于单个机器单元的控制,建议分离控制器对象的设计,这样有利与系统开发、验证和维护。对于控制器内部,可以采用面向对象的方法如。也可采用层次化状态图的建模和实现方法,系统分析采用面向任务的分析方法^[6]。文献[6]中实现的系统结构明晰,系统架构便于重用,且系统实时性好。

对于多机器单元的控制,可针对每个机器单元设计一个控制器对象。对多个控制器对象的协调、调度和它们之间的通信等则涉及到软件体系结构的选择设计。

2 软件体系结构

软件架构也称为软件体系结构,作为控制软件复杂性、提高软件系统质量、支持软件开发和复用的重要手段之一,软件体系结构自提出以来,日益受到软件研究者和实践者的关注,并发展成为软件工程的一个重要的研究领域^[2]。

人们发现,随着软件系统的规模和复杂性不断增加,系统的全局结构的设计和规划变得比算法的选择以及数据结构的设计更加重要。这种全局结构的设计和规划问题包括全局组织结构、全局控制结构、通信和同步以及数据存取协议的、规定设计元素的功能、设计元素的组合、物理分布、规模和性能、演化的维度、设计方案的选择等。这些正是软件体系结构要讨论的问题。人们普遍认识到,为系统设计一个合适的体系结构是系统取得成功的关键因素^[5]。

常见的体系结构风格有层次式、管道-过滤器式、黑板式等^[5]。体系结构控制风格是在层次或组件之间分配决策和协调责任的方式。控制风格包括集中式控制、分散式控制、委托式控制3种^[7]。对于多个控制器对象之间的协调和管理,设计一个“聪明对象”实现集中式控制管理是可行的解决方案。

如何将学术研究成果应用于实际的软件开发一直是困扰研究者的问题。虽然体系结构实践已经取得了初步成果,但在实际产品开发中,仍然主要依靠软件架构师的个人经验,系统化地使用SA来指导开发,尚缺乏行之有效的方法和案例^[2]。下文结合实际控制系统的开发来说明一个控制系统的设计。

3 控制系统软件设计实例

3.1 大型货物输送机组设备布局

图1为一输送机组平面布置图。图示输送机组共有4种类型22台输送机。图中的8台可升降双向输送机设计为集装器组装以及称重、打标签和录入货物信息的操作工位。输送机D2A、D5A与立体仓库堆垛机接口。此输送系统用于集装货运货物集散中心的货物处理,主要是辅助集装运输前的货

物打包或组装成集装箱的处理和输送, 或者辅助集装货物的分解处理和输送。

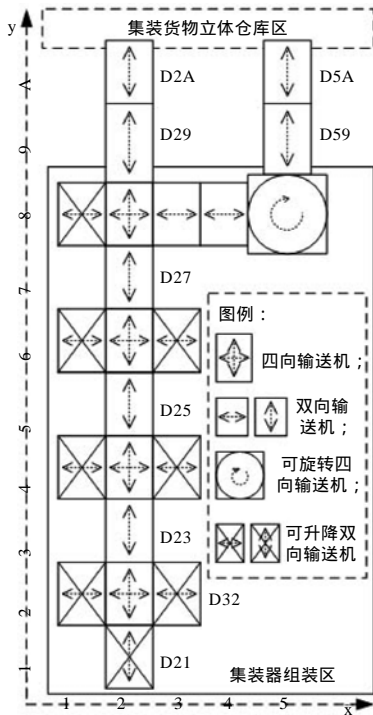


图1 输送机配置布局

3.2 控制要求和系统配置

货物在可升降双向输送机上组装到集装器, 然后输送到集装货物立体仓库区。空的或需要重新组装的集装器也可能需要从立体仓库区反向输送到集装器组装区。具体有以下几个特殊要求: 同一个集装器货物可能需要在不同地点(工位上)多次组装, 这提出了输送系统多工位的要求。由于即将装入集装器的货物批量小、品种多的特点, 每个集装器的装载操作流程经过的工位是不同的, 提出了输送路径可随时变化的要求, 即多路径可配置要求。多个集装器在不同工位上同时组装、处理, 要求控制系统具有多任务并发处理功能。要求对输送货物的信息进行实时跟踪。

控制系统由监控计算机和PLC两级组成。输送机组分为手动、半自动、联机自动3种工作模式。手动和半自动模式下由PLC单独控制输送机组。联机自动模式下监控计算机和PLC协作完成输送机组控制。

联机自动模式下, PLC与监控调度上位机联网, PLC按照上位机发来的指令执行输送动作, 并向监控计算机报告输送机输送执行情况。多个货物同时输送中可能产生的路径冲突问题由上位机调度解决。

对于如图1所示的一组输送机组的控制, 采用一台PLC为主控制器。主控制器通过现场总线与分组控制柜中的远程IO模块通信。并通过工业以太网交换机与工位旁的8台触摸屏以及监控调度计算机通信。

3.3 PLC控制系统软件体系结构设计

PLC是用于工业控制的典型的嵌入式系统。文献[8]中给

出了一种嵌入式实时软件通用框架模型, 该模型对嵌入式实时软件所必须解决的资源管理、任务管理、时间管理、调度管理和通信问题进行了建模, 本质上是提出了一种嵌入式系统的分析方法, 而不是建模方法, 其模型也无法重用。因文献[8]中并未说明系统几个部分直接是如何作用的。文献[7]只做了分析系统和综合中的分析, 而未做综合设计。系统综合是系统开发的关键, 软件架构技术可以为系统综合提供思路。

货物在输送机之间依次传输, 这与管道过滤器模式处理数据的方式相似。用PLC软件实现管道过滤器模式以映射输送过程, 可方便的同时实现数据与货物输送控制的同步。不同于一般过滤器, 本系统过滤器——输送机控制模块较复杂, 它需要完成输送机械的控制和货物信息的维护和传递。它同样有自身的控制数据和控制功能。面向对象技术适合应用于分布式系统。同时, 受益于对象的自在性和独立性, 多个对象可分别实现和存在, 从而实现实时多任务并发操作。由此本文把输送机控制模块映射为控制对象实现。

根据对PLC控制系统系统信息跟踪和多任务并发控制要求, 控制软件总体采用面向数据的管道过滤器结构风格。各个输送机控制模块部分采用面向对象模式。软件各个模块设计为一个数据处理器, 模块间关系和数据流如图2所示。输送机控制部分按照面向对象方法对系统进行了分解。模块间的数据通过消息方式传递。指令队列和状态报告队列为FIFO(先进先出)队列。指令队列中的货物输送指令来自现场触摸屏输入或上位监控计算机, 指令生产模块或指令接收模块完成与触摸屏或上位机的交互并实现指令的校验后把指令压入指令队列。

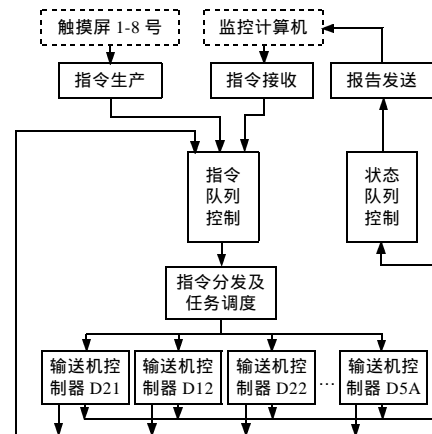


图2 PLC控制软件结构

3.4 指令分发及任务调度对象设计

软件体系结构的设计除了结构风格的设计还包括控制风格的设计。控制风格是层次或组件之间分配决策和协调责任的方式^[7]。本系统采用了集中式控制风格, 设计了“指令分发及任务调度”模块作为控制软件的中枢, 这个对象即文献[7]中所述的“聪明对象”。指令分发及任务调度模块把指令分发到(压入各个输送机控制模块的指令队列)各个输送机控制模块, 并激活相应的输送机控制模块, 实现输送机控制任务的动态调度。所有输送机控制模块在指令分发及任务调度模块中显式

调用。调度的方法是通过控制其子程序“调用使能位”实现^[6]。

3.5 输送机控制对象设计

输送机控制模块控制输送机的动作,并把任务执行情况压入指令报告队列以便与监控计算机通信。或把一个配合动作指令压入指令队列,通过“指令分发及任务调度”模块把配合动作指令发送到另外一个输送机控制模块,以通知其他输送机控制模块进行配合动作。输送机控制模块完成传来的输送指令后复位自身的调用使能位,使自己进入休眠,直到被指令分发及任务调度模块激活——置位其调用使能位。

每个输送机控制模块(对象)对应于实际的一台输送机的控制。按照实际存在的输送机类型,系统设计了4种输送机控制子程序(类)。并为每个输送机设计了相应的控制数据。

3.6 系统实现与应用

PLC控制软件在Rockwell的Control Logix 5562上编程实现,一组输送机组的PLC控制程序规模(程序文件大小)约2MB,程序扫描周期在1到2毫秒。设计的输送控制系统于2009年6月在某机场大型货运站实施,替代了进口。由于控制软件系统分析合理、各个模块间耦合性较小、系统结构清晰,加快了系统调试。

4 结束语

本文把软件工程的新成果——架构技术和对象技术——引入PLC控制软件的开发,通过具体实例说明了架构的结构和控制风格的具体设计思路。厘清了抽象对象的概念,并以此说明了控制软件开发中分离控制器对象和被控对象的思想。给出了控制软件系统控制器的设计和消息机制的设计。

应用了架构和对象技术的PLC控制软件设计方法较一般的顺序控制程序设计方法更适合大规模分布式控制系统开发。实现的控制系统结构清晰、便于重用。为该行业应用提供了实用的范例。

参考文献:

- [1] Auslander D M, Ridgely J R, Ringgenberg J D. 机械系统控制软件:实时系统面向对象设计(影印版)[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 梅宏,申峻嵘. 软件体系结构研究进展[J]. 软件学报,2006,17(6):1257-1275.
- [3] Michael F Zaeh, Clemens Poernbacher. Model-driven development of PLC software for machine tools[J]. Prod Eng Res Devel, 2008,2(1):39-46.
- [4] Kwan Hee Han, Jun Woo Park. Development of object-oriented modeling tool for the design of industrial control logic[C]. 5th International Conference on Software Engineering Research, Management & Applications, 2007:353-358.
- [5] Mary Shaw, David Garlan. 软件体系结构[M]. 牛振东,江鹏,金福生,译. 北京:清华大学出版社,2007.
- [6] 马殿元,姚闯. 基于状态图的电梯控制建模及其PLC实现[J]. 计算机工程,2009,35(16):221-223.
- [7] Brock R W, McKean A. 对象设计:角色、责任和协作[M]. 倪硕,陈师,译. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [8] 王琼,杜承烈,李刚,等. 嵌入式实时软件通用框架模型研究[J]. 计算机工程与设计,2007,28(6):1372-1375.

(上接第1640页)

其检测结果完全一致(各技术指标均精确至小数点后一位),进一步证明了系统及设备的精确性可信。

5 结束语

水质监测不仅需要切实可行的系统方案,还必须设计出成本低、通用性强、具备推广价值的模块单元。遵循上述原则,本文提出了完整的系统解决方案,并设计实现了系统各层次所需的模块单元。与传统的体系相比较,该系统可行性确定,各模块运行更加稳定,检测数据准确,成本更加低廉,具备商业推广价值。当然,与国外昂贵的系统及设备比较,该系统在集成度和精确度上还有待提高,另外系统大规模展开应用的稳定性、实时性等特点尚待考证。

参考文献:

- [1] 吕西午,刘开华,赵岩. 基于Zigbee的无线监测系统设计与实现[J]. 计算机工程,2010,36(5):243-244.
- [2] 曾松伟,许伟强,胡海根. 水质参数监测系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2009,30(21):4888-4890.
- [3] 曾洪涛,符向前,蒋劲,等. 汉江多参数水质连续自动在线监测系

统[J]. 中国农村水利水电,2009,29(9):23-25.

- [4] 武静涛,马长宝,刘永波. 水质监测无线传感器网络节点的设计[J]. 计算机测量与控制,2009,17(12):2575-2578.
- [5] 陈军,盛占石,陈照章. 基于GPRS的水质自动监测系统设计与实现[J]. 传感器与微系统,2009,28(7):77-79.
- [6] 杜治国,肖德琴,周运华,等. 基于无线传感器网络的水质监测系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2009,29(17):4568-4570.
- [7] 何明星. 基于ZigBee与GPRS技术的无线传感器网关的设计[J]. 工矿自动化,2009,17(8):106-109.
- [8] 丁永忠,彭万权,魏哲,等. 基于嵌入式的智能火灾监控系统设计[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(4):133-134.
- [9] 郑凯,赵宏伟,张孝临,等. 基于ZigBee网络的心电监护系统的研究[J]. 仪器仪表学报,2008,29(9):1908-1911.
- [10] Balint Cornel. Dimensioning rules regarding radio resources in GSM/GPRS networks[J]. WSEAS Transactions on Communications, 2009,8(8):822-832.
- [11] Gurbuz Ali Cafer. A compressive sensing data acquisition and imaging method for stepped frequency GPRS[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009,57(7):2640-2650.