

面向对象的机电系统结构及行为建模

许 勇

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:针对原理设计阶段机电一体化系统的逻辑结构模型、逻辑/物理行为模型和原理方案表达,提出了基于参考模型的机电一体化系统初步逻辑结构,以及基于统一建模语言(UML)类图的详细逻辑结构(即原理方案表达);提出了基于消息序列图(MSC)的交互行为建模及基于规范和描述语言(SDL)的逻辑/物理行为建模方法,从而基于人类认知客观世界的思维方式提出了面向对象的机电系统设计和分析的新视角。基于此对 CD 播放机工作系统中关键组件的原理方案解进行了表达,研究结果显示了面向对象系统建模方法的有效性。

关键词:逻辑结构;逻辑行为;统一建模语言;消息序列图;规范和描述语言

中图分类号:TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0094-05

Object-oriented modeling of structure and behavior for mechatronic systems

XV Yong

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Aiming at the logical structure model, logical/physical behavioral models and principle scheme presentations for mechatronic systems on the principle design stage, reference model was applied to represent the initial logical structure and unified modeling language (UML) diagrams to represent the detail logical structure (i. e. principle scheme presentation) of a mechatronic system. message sequence charts (MSC) were applied to expound the interaction between systems and specification and description language (SDL) charts to simulate overall (logical and physical) system behaviors. A new perspective was thereby presented on the object-oriented design and analysis for mechatronic systems based on the way of human cognition for the objective world. As an example, the system structure and behaviors of a CD player were illustrated in detail. The results indicate the effectiveness of the object-oriented system modeling method.

Key words: logical structure; logical behavior; unified modeling language (UML); message sequence charts (MSC); specification and description language (SDL)

0 引 言

“机电一体化”是使机械制造技术与电子技术、信息技术在部件、模块和系统层次上实现了功能交互和空间集成的学科和技术^[1]。总的来说,已有文献关于机电一体化系统设计的阐述多是基于面向行动(action oriented)的思想,即系统的开发是基于系统所执行、完成的过程。但众所周知,信息技术领域的主流早已是面向对象的思想、方法,其已被广泛公认为更加符合人类认知客观世界的思维方式,从而为机电系统的设计与分析提供了新的视角。

面向对象思想认为,系统是通过多个对象间的相互联系和作用而构成。对象是内部状态(通过数据描述其属性)和运动规律(通过作用于数据的操作体现其行为)的封装体。面向对象方法将待解决问题分解成多个易管理的对象,不是按有序的步骤,而是通过新对象的建立和对象间的通信来解决问题。国外尤其是欧洲学术界早已对面向对象的机电系统设计理论及方法展开了较为深入的探索。

Buur^[2]提出和表达了机电系统的功能、变换、技术原理等特性,但未阐明如何指导设计;Andreasen 等^[3]提出的机电系统设计方法论强调系统逻辑行为的重要性,并认为机电系统功能的完全描述应包括对物质、能

量、信息变换过程和系统状态的联合表达,被认为是面向对象的机电系统设计的萌芽;Hildre 等^[4]将软件、电子和机械设计方法进行了集成,提出了兼具面向行动思想和面向对象思想的机电系统设计方法论。但其方法论对设计过程中的许多要素(如逻辑和物理结构、行为等)缺乏清楚合理地区分,不同活动间如何转换亦未明确说明;Ahmad 等^[5]提出的机电系统设计方法论较多地应用了软件工程理论和工具,较多地关注机电系统的逻辑行为而非物理行为。但方案设计中的软件工具和其后的具体设计工具(主要用于机械和电子系统设计)难以进行衔接。

国内对于基于面向对象思想的机电系统设计理论和方法的研究相对起步较晚,相关探讨还远未充分。

本研究借鉴软件工程原理和方法^[6-8],尝试用面向对象的思想来阐释机电系统设计过程中的系统结构和行为表达。

基于面向对象观点,本研究提出系统设计过程可大致分为逻辑设计阶段、原理设计阶段和物理设计阶段,当然各阶段间的迭代和反馈是必不可少的。

(1) 逻辑设计:是独立于实现的系统逻辑行为(即对对象内部状态或属性的操作)设计和逻辑结构(能够实现系统逻辑行为的互联对象集合)设计的总称。该阶段以问题域分析及需求分析结果为输入,目的是生成由多个互联的逻辑对象(抽象对象)构成的系统结构,以满足系统逻辑功能需求(决定系统的逻辑行为)。

(2) 原理设计:通过考虑物理功能需求(决定系统的物理行为)和非功能需求(决定实现因素和参数),原理设计阶段将逻辑设计和物理设计阶段联系了起来^[9]。该阶段以基于抽象对象的逻辑结构表达为输入,目的是生成多个互联的原理对象(物理部件)构成的原理结构,以满足系统功能需求和非功能需求。

(3) 物理设计:是与实现相关的物理行为(依赖于系统实现因素和参数)设计及物理结构(能够实现系统物理行为的互联的对象集合)设计的总称。以原理结构表达为输入,目的是生成多个互联的具体对象构成的系统结构,以满足物理功能需求和非功能需求。

机电一体化系统在各设计阶段都具有静态的逻辑/物理结构和动态的逻辑/物理行为。基于面向对象思想,本研究采用的机电一体化系统逻辑/物理结构表达(说明系统中对象及其相互关系)工具有:基于软件工程的参考模型和 UML^[10-11](Unified Modeling Language,统一建模语言)类图模型;采用的系统逻辑/物理行为表达工具有 MSC^[12](Message Sequence Charts,消息序列图,可表达对象间交互、通讯行为)模型和

SDL^[13](Specification and Description Language,规范和描述语言,可表达系统逻辑/物理行为)模型。最后,以 CD 播放机为设计实例作了说明。

需强调的是,本研究以原理设计阶段的系统结构及行为建模为研究重点。原理系统的逻辑结构可由参考模型和 UML 类图来建模,而逻辑/物理行为可由 SDL、交互行为可由 MSC 来建模。

1 机电一体化原理系统的逻辑结构建模

1.1 原理系统逻辑结构的参考模型

系统逻辑结构设计的目的是以独立于物理实现的方式来建模和模拟系统的逻辑行为。只有设计出合理的逻辑结构才能获得理想的逻辑行为(功能)。

建立逻辑结构时,应当先把系统分解为具有各自逻辑行为的对象结构,然后描述每类对象的行为。在软件工程领域中,已经提出了许多构建软件系统逻辑结构的原则,可为机电一体化设计所借鉴。

参考模型是一种用于面向对象设计初期的简化的逻辑结构模型,它将系统划分为多个职责(功能)明确的对象,并将各对象的功能、性质封装起来,以期对某一对象的修改尽量少地影响到其他对象。参考模型并未明确对象间的交互关系,但它是系统逻辑结构设计的起点和逻辑行为分析的基础。

本研究提出的机电一体化系统参考模型如图 1 所示。

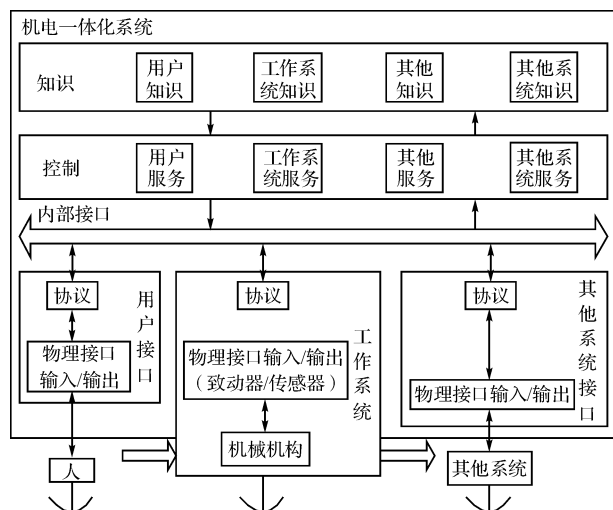


图1 机电一体化系统的参考模型

其中的基本组成对象有:

(1) 知识对象:已被系统所明确了解的内部和外部实体。

(2) 控制对象:履行系统的服务(指系统向用户提供

的对对象的控制、对象间的协调、信号传输等功能)。

(3) 工作系统:完成机械变换过程,由制动器、传感器和机械机构组成。

(4) 用户接口:承担人和机电一体化系统间的交互。

(5) 其他系统接口:承担机电一体化系统和其他系统间的交互。

在建立抽象的参考模型时,并未选定任何作用原理解,设计者可选用不同学科、技术领域中的原理解或其组合来实现系统中的对象。

1.2 原理系统逻辑结构的 UML 建模

UML 已被 Object Modeling Group 组织作为软件架构和系统逻辑结构的标准表达符号。UML 中的基本元素是对象和类,UML 类图可对协同完成特定功能的一系列对象进行建模,以显示对象间相互关系。它可基于参考模型来生成,并与其相对应。

本研究提出的对应于机电一体化系统参考模型的 UML 类图模型如图 2 所示。

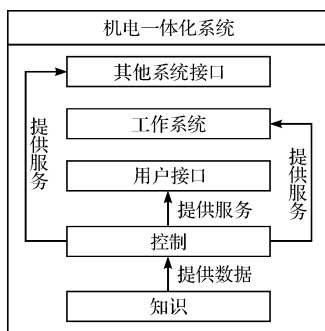


图 2 机电一体化系统的 UML 模型

2 机电一体化原理系统的行为建模

2.1 原理系统交互行为的 MSC 建模

为了可视化地描述对象间的接口(交互)行为,本研究应用 MSC 建模机电一体化系统的交互行为。MSC 已由国际电信联盟制定了相应的标准。

MSC 描述了构成系统及环境的对象间如何进行交互(以物质、能量或信息的形式)和通讯。它显示了为了完成一些功能,一个消息序列如何在一系列对象间被发送和接收。通常,每张图仅显示了遍历所有对象行为的一条可能的路径,因而只有通过几张图的协作才能全面反映出系统的所有行为。

2.2 原理系统逻辑/物理行为的 SDL 建模

SDL 用于直观地规定和描述系统的行为,它定义了系统(通过信号的发送和接收)对环境中的事件(刺激)进行反应的方式。

SDL 系统中的基本模块是“块(block)”,而最小功能单元是过程实例(process instance)。逻辑设计阶段,通过将基本的逻辑对象(如工作系统对象、控制对象等)定义为块,原抽象系统就可转化为由多个互联的块构成的 SDL 块图。随着系统设计的逐步推进,高阶的块逐步分解、演化为较低阶的子块或不可细分的过程实例。即,不同设计阶段对应着抽象程度和详细程度不同的 SDL 系统。将机电一体化系统逻辑结构转化为对应的 SDL 系统是进行行为建模与分析的基础。

过程实例本质上就是扩展的有限状态机,是一种表示有限个状态及在状态间转移和动作等行为的数学模型,所有过程实例的行为集合就是整个 SDL 系统的行为。在不同设计阶段,均可应用 SDL 过程实例图表达系统对象(可定义为块、子块或过程实例)乃至整个系统的逻辑/物理行为。

3 原理设计与物理行为设计间的信息重用及验证

尽管 SDL 能够表达、模拟系统的整体(逻辑及物理)行为,但无法直观模拟和验证系统行为模型的正确与否。本研究提出的一种解决思路是将逻辑行为设计软件(如 SDL)和物理行为设计软件(如 Matlab)进行互联。比如,执行逻辑行为建模的 SDL 可以向 Matlab 发送一些适合后者处理、计算的信息(如对象的数学模型信息),然后 Matlab 就能够图形化模拟和显示系统的物理行为,从而验证系统逻辑行为建模的正确与否。这样,不同设计阶段的信息就可实现互联和重用,如图 3 所示。

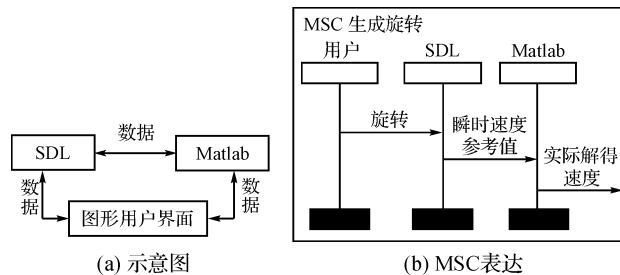


图 3 SDL、用户和 Matlab 间的互联

图 3(b)展示了在生成特定转速的旋转操作中,用户、SDL 和 Matlab 间的交互情况。用户发送旋转信号给 SDL,SDL 根据系统的逻辑行为和当前状态,发送瞬时速度参考值至 Matlab。后者基于调节器和过程实例的数学模型,计算出瞬时速度并发送至控制器(未显示)。为说明 SDL 和 Matlab 的互联途径,MSC 图仅显示了特定转速旋转信号的生成,而未涉及系统中其他对象的信号。

4 面向对象的机电一体化系统原理设计建模实例:CD 播放机

4.1 CD 机系统的逻辑结构建模

CD 机系统的参考模型如图 4 所示,对应的 UML 模型,如图 5 所示。

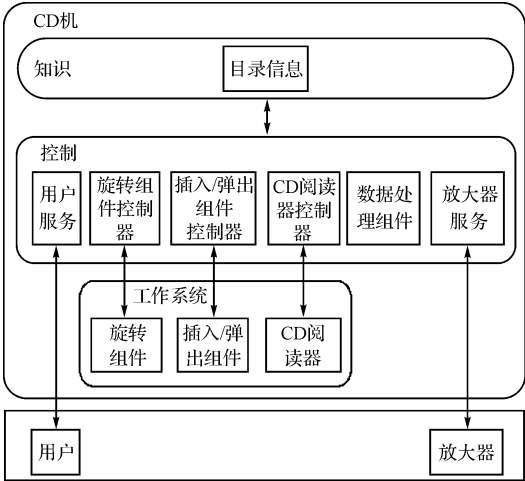


图 4 CD 机系统的参考模型

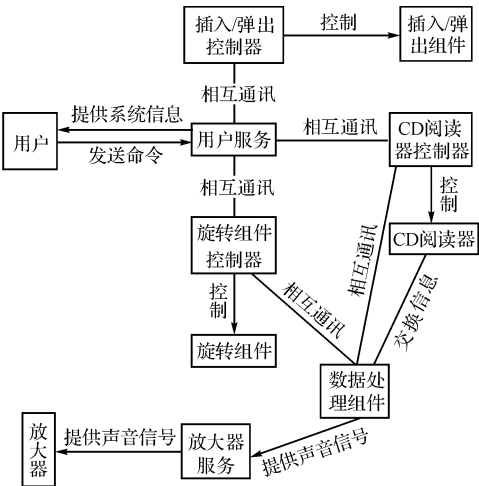


图 5 CD 机系统的 UML 模型

4.2 CD 机系统的行为建模

4.2.1 交互行为建模

“正在播放 CD”操作的 MSC 建模如图 6 所示。

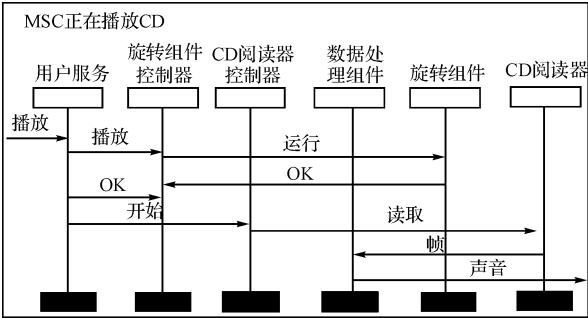


图 6 “正在播放 CD”的 MSC 建模

4.2.2 逻辑/物理行为建模

与参考模型相对应的 CD 机系统的逻辑行为模型如图 7 所示。

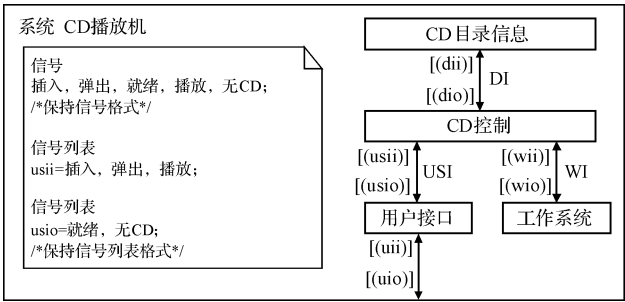


图 7 基于 SDL 的 CD 机系统逻辑行为模型

为节省篇幅,本研究仅给出 CD 机系统中旋转组件块的 SDL 逻辑行为模型如图 8 所示。在此基础上,对旋转单元块中的过程实例(也是原理方案解)——电机的物理行为进行了建模,如图 9 所示。

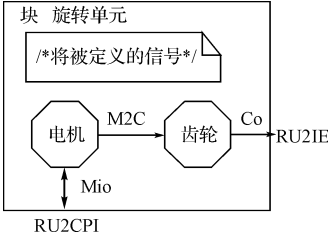


图 8 基于 SDL 的旋转单元块逻辑行为模型

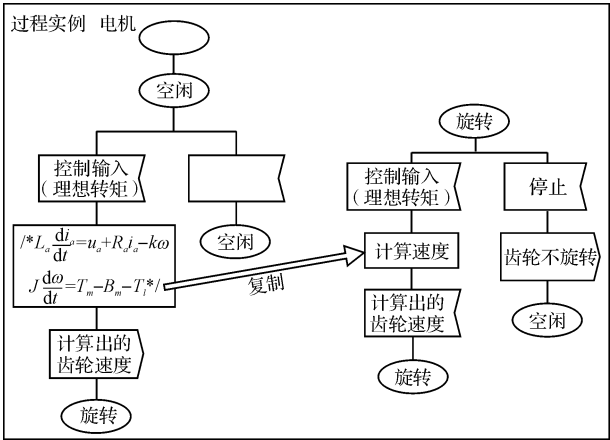


图 9 基于 SDL 的电机过程实例的物理行为模型

4.3 CD 机工作系统的原理方案表达

原理方案生成的目的是寻求能够实现系统逻辑行为、满足功能性和非功能性需求的作用原理解(对象)结构。功能方法树是方案生成的一种常见方法。一旦实现某一层上功能的方法(方案解)被确定,该功能就可被分解为较低层次上的子功能,每一子功能再依次寻求相应的方法。但功能方法树未说明多个子功能的执行顺序,也未说明多个方法(原理解)间的关系。

因此,本研究应用 UML 进行系统/组件原理结构建模,应用 MSC 进行系统/组件交互行为的建模。

本研究将功能方法树作为 CD 机系统方案生成结果的记录,限于篇幅,仅说明 CD 机工作系统中 CD 阅读器组件的原理方案表达。

在 CD 阅读器组件中,扫描器载体带动扫描器沿着旋转盘片的表面从里向外读取盘片数据,并将其传送到数据处理组件进行处理。“读取数据”操作的功能方法树如图 10 所示。

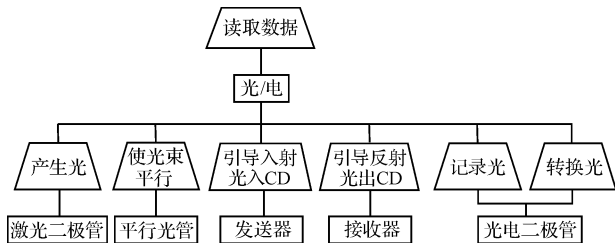


图 10 读取数据操作的功能方法树(部分)

CD 扫描器的 UML 类图如图 11 所示。如图 12 所示,用 MSC 说明了“扫描 CD”操作的执行顺序。光电二极管输出的电信号将被送到数据信号处理组件中处理。

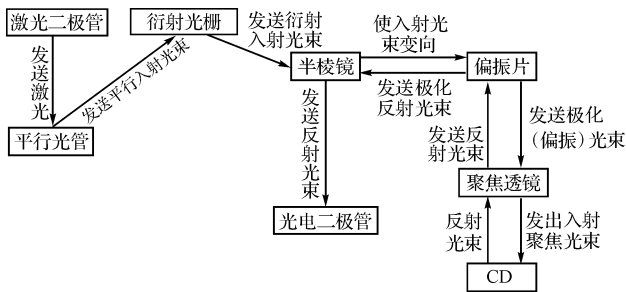


图 11 CD 扫描器组件的 UML 类图模型

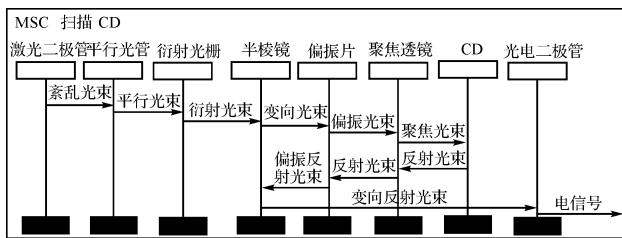


图 12 扫描 CD 操作的 MSC 完整模型

5 结束语

本研究用面向对象的思想阐释了原理设计阶段机电一体化系统的逻辑结构模型、逻辑/物理行为模型和原理方案。同时提出了基于参考模型的机电一体化系

统初步逻辑结构,以及基于 UML 类图的详细逻辑结构(即原理方案表达);提出了基于 MSC 的交互行为建模及基于 SDL 的逻辑/物理行为建模方法,从而基于人类认知客观世界的思维方式提出了面向对象的机电系统设计和分析的新视角。基于此对 CD 播放机工作系统中关键组件的原理方案解进行了表达。

参考文献(References):

- [1] 王卫芳,石世宏. 数控机床加工的常见问题研究[J]. 机电工程技术,2009,38(3):48-49.
- [2] BURR J. A Theoretical Approach to Mechatronic Design [D]. Institute for Engineering Design, Technical University of Denmark,2001.
- [3] HANSEN C T, ANDREASEN M M. Two Approaches to Synthesis based on the Domain Theory [M]// Engineering Design Synthesis, (ed. A. Chakrabarti). Springer-Verlag, 2007:93-108.
- [4] HILDRE H P. Mekatronikk Metodikk [D]. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology,1996.
- [5] SHAKERI A. Principle Design in Mechatronic Systems Development Process [C]. 2nd Tampere International Conference on Machine Automation. Finland -Tampere: [s. n.], 2008.
- [6] BECK K, CUNNINGHAM W. A Laboratory for Object-oriented Thinking[C]. OOPSLA 1989 Conference Proceeding. New York: ACM press,1989.
- [7] BRÆK R. SISU Integrated Methodology-at a Glance [R]. SISU Report L-2001-7,1997.
- [8] RUMBAUGH J R. Object-oriented Modeling and Design [M]. Englewood Cliffs, NJ:Prentice Hall,1991.
- [9] 张建明. 产品概念设计的研究现状及其发展方向[J]. 计算机集成制造系统,2003,9(8):613-620.
- [10] BOOCH G. Object-oriented Analysis and Design with Applications [K]. Redwood city, Calif. Benjamin/Cummings Pub. Co.,1998.
- [11] JACOBSON I. Object-oriented Software Engineering-a Use Case Driven Approach [M]. Addison Wesley,1995.
- [12] ITU-T, Recommendation Z-120, Message Sequence Charts- MSC, International Telecommunication Union-Technical Standardization Sector[S]. Geneva,1996.
- [13] ITU-T, Recommendation Z-120, Specification and Description language-SDL, International Telecommunication Union-Technical Standardization Sector[S]. Geneva,1996.

[编辑:柴福莉]