

基于面向对象工作流网的水利枢纽业务过程模型

王慧敏¹, 孔令东², 朱跃龙², 王建颖²

(1.河海大学商学院,江苏 南京 210098;2.河海大学计算机及信息工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 结合水利枢纽实际,提出一种基于面向对象工作流网的枢纽抽水站业务过程模型,并实现了工作流网模型向面向对象语言的转化.对工作流网模型中的“变迁”元素进行扩展,面向对象的工作流网模型的结构,工作流网向面向对象的状态转换图及语言的转化等问题进行了研究.

关键词 工作流;建模;Petri 网;面向对象;水利枢纽

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2005)03-0334-05

目前,水库、水利枢纽在实时监控、水情测报、安全监测、事务管理、调度决策等方面的信息技术(IT)应用是相对独立的,在其内部形成了“信息化孤岛”,这些相对独立的系统面临着如何共享信息、协调优化运行的问题.从系统工程角度分析,局部最优经过累积并不能达到整体最优.应从全局的高度规划、优化和集成水利枢纽的组织机构以及枢纽的所有软硬件资源,使水利枢纽防洪调度、运行管理水平得到提升^[1].

起源于 20 世纪 70 年代的“工作流”技术,已成为组织挖掘业务过程潜能、实施“业务过程再造”的重要使能技术^[2~4].对水利枢纽利用工作流技术进行业务过程的建模和深入分析,不仅可以规范枢纽的业务过程,发现业务过程中不合理的环节,进而对业务过程进行优化重组,而且所建立的业务过程模型本身就是枢纽运行调度非常重要的知识库和规则库,可以指导枢纽调度管理自动化系统的设计与实施.

1962 年 Petri 提出的 Petri 网,其初衷就是作为一种过程建模和分析的工具提出的,它是一种图形化描述的强有力的工具,经过 30 多年的发展,已广泛应用于各个领域进行系统的建模、分析和控制^[5].基于 Petri 网的工作流网建模已经有了相当的进展^[4],面向对象工作流网建模在电子商务、先进制造等方面已有一些研究,大都是针对特定领域的具体应用.在水利枢纽及水资源配置与防洪调度方面的研究未见报道.

笔者针对水利枢纽的特殊性,对工作流网中的“变迁”元素进行扩展,在分析“变迁”元素及网结构的基础上,提出一种面向对象工作流网(Object-Oriented WorkFlow-Net,简称 OOWF-Net)模型.结合水利枢纽实际,建立基于面向对象工作流网描述的枢纽抽水站业务过程模型,并实现该图形化的工作流模型向面向对象语言(Object-Oriented Programming-language,简称 OOPL)映射.

1 面向对象工作流网模型

将实际的业务流程转换成形式化表示的过程称为业务过程建模.工作流模型就是将现实世界中的业务过程抽象出来,并用一种形式化的、计算机可处理的方式来表示.这种形式化的结果称为工作流模型.本文采用 Petri 网作为建模工具,研究面向对象的工作流网模型.

1.1 工作流网

对工作流的控制流维度建模的 Petri 网(PN)被称为工作流网(WF-Net).

一个 Petri 网 $PN=(P,T,F)$ 被称为 WF-Net(工作流网),当且仅当 (a)存在一个起始“库所” $i \in P$,使得 $\cdot i = \Phi$ (b)存在一个终止“库所” $o \in P$,使得 $o \cdot = \Phi$ (c)每一个节点 $x \in P \cup T$ 都位于从 i 到 o 的一条路径上^[4].

一个 WF-net 有一个输入库所(i)和一个输出库所(o),因为任何被 WF-net 过程处理的案例都在它进入工作流管理系统时被创建,而且一旦被工作流系统处理完毕就立即被删除,也可以说,在 WF-net 的定义下,

一个完整的工作流程总有一个开始和结束的生命周期。

在一个复杂系统的建模中,一般习惯上可以把一个局部业务流程的模型称为工作流子网。若干个子网可以形成工作流网。

在“库所”与“变迁”的基础上,为了定义“串行”、“并行”、“条件选择”、“循环”等常见的过程逻辑,工作流网构造了以下四种结构化的组件来实现这些功能,以利于用户加快和规范建模的过程。“串行组件”用来定义一系列按固定顺序串行执行的活动,由一条不分支的通路构成。“并行组件”用于定义没有严格执行顺序的、可同时进行的分支活动,由 AND-split 和 AND-join 模型符号构成。“条件选择”组件用来定义彼此之间具有相互制约与排斥的分支活动,由 OR-split 和 OR-join 模型符号构成。“循环组件”用来定义需要重复执行多次的活动,主要由一个 OR-split 模型符号构成。

1.2 面向对象的工作流网模型

1.2.1 从工作流网到面向对象工作流网

Petri 网具有足够丰富的表达能力,完全支持工作流管理联盟(WFMC)所定义的工作流原语,它作为一种图形化的语言,可以精确描述系统中变迁之间的依赖关系和不依赖关系。它也是一种基于状态的建模方法,用统一的语言(网)描述系统结构和系统行为,过程定义严格区分了活动的使能与活动的执行,只需要对网中的 Token 与触发作相应的处理,就能够动态地修改过程的实例,具有更多的柔性特征。

但是,从另一个角度来看,Petri 网之所以具备上述的优点,实际上是在模型的构成上通过增加模型组成元素来实现的,即使是一个简单的过程,其相应的工作流模型也会有较多数量的“库所”和“变迁”,对于水利枢纽业务系统的集成和优化来讲,在具体的实施建模中的问题是突出的。另外,在基于状态建模的前提下,无法体现数据流。

为降低建模过程的复杂程度,提出了层次化的扩展,一个过程能由子过程构成,其子过程又能由更深层次的子过程构成,从而可以层次化地构造一个复杂的过程,体现了自顶向下,分而治之的思想,这同传统的软件工程结构化的方法很相近。

需要进一步考虑的问题是,Petri 网是用来描述和分析系统模型的工具,不是计算机的实现工具。Petri 网的结构和软件结构性质不同,表现形式也不同。因而,要实现从 Petri 网到程序结构的转换,及至对模型的仿真,就必须实现在 Petri 网到程序结构间的转换。在分层次模式下的转换必然回到结构化程序设计上,同现在流行的面向对象的软件工程及其语言相比,其劣势是明显的。

面向对象的范型有助于降低复杂性^[6,7],最适合于人类思维特点,把数据和行为看成同等的重要。看待一个对象的极其简洁的方法是将对象视作一个融合了数据及在其上操作的行为、统一的软件组件,在一个设计良好的对象中,信息隐藏保证了实现的细节对对象以外的封闭。唯一允许的通信形式是向该对象发送一条消息,让它执行特定的行动。面向对象最适合于 Petri 网的描述与分析,因为对象把数据和施加于这些数据上的私有操作封装在一起。操作名列在封装对象的界面上,当其他对象(状态)要“启动”该对象某个操作(变迁)时,则以操作名发一条消息,该对象接受了消息,操作即动作起来,完成对私有数据的加工。这样可以把工作流子网作为一个对象,并把他们联系起来,通过 OOPL 直接转移为程序。

这样,面向对象的范型不仅通过包含独立对象工作流子网的方法解决了 Petri 网建模复杂性的问题,而且通过对对象间信息的调用和传递,进一步解决了模型到程序仿真的状态触发,同时体现了数据流。

1.2.2 对工作流网模型中的“变迁”元素进行扩展

笔者针对枢纽的业务过程,对工作流网模型中的“变迁”元素进行扩展(图 1)。一般的工作流网模型中的状态用圆圈表示,变迁用矩形框表示,位置到变迁或变迁到位置用有向弧表示,Token(标记)则用在状态中的圆点表示。对每个状态标注状态名和包含的标记类型。变迁标注变迁名和优先级。图 1 中在变迁上扩展了输入和输出端口以及触发机制。用内部带加号的圆圈表示内部某状态请求外部对象提供输入请求(In-Requir);用内部带减号的圆圈表示内部某状态响应外部对象的请求做出的输出应答(Out-Response)。用内部带加号和圆圈的矩形表示外部对象向内部对象发出的触发任务。图 1 给出的变迁元素的扩展,可以很好地实现不同工作流子网对象之间的消息传递和状态转换。

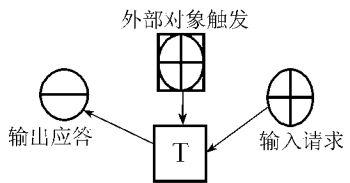


图 1 变迁元素的扩展
Fig.1 Extension of transition element

1.2.3 面向对象的工作流网模型结构

软件对象指的是将数据(状态)和功能(行为)捆绑为一体的软件结构,合在一起代表现实世界(包括物理的和概念的)对象的一个抽象.对象内部数据和行为封装称为其内部结构,而对象之间的通信是通过接口来完成的,称为外部接口.

1.2.3.1 内部结构

a. Token(标记)/对象(实体)属性.标记是面向对象的工作流网的重要语义的载体之一,标记代表物理逻辑的实体,其中变量为实体的属性.在工作流网的运动过程中,标记的数据可以发生变化,即标记中变量的值可以改变.变迁对标记中数据的修改常常代表特定的语义,标记还有记录入口接收到信息的作用.对象发送到外界的信息也总是来自标记中的数据.

在工作流网中表示的对象所组成的系统中,可以有多种类型的标记.在一个对象中,不同位置的标记类型也可以不同.一个位置可以有多个标记,但这些标记的类型必须相同.标记在位置中是按先入先出的顺序排队的,但也可以根据用户定义的规则选取.

b. Transition(变迁)/对象(实体)行为.在面向对象的工作流网中的变迁带有谓词和动作.谓词规定变迁发生的条件.在工作流网中只设定一种条件,即如果变迁与一个入口相连.当它接收到外界对象发来的消息时,谓词为真,否则为假.变迁动作完成对象的状态改变.某些变迁还负责向外部对象发送消息.在状态改变的过程中,标记从变迁的输入位置取出,新的标记被生成放入变迁的输出位置.一些标记中的数据可能发生变化,一些标记可能被销毁,另一些可能被创建.

工作流网的转移带有时间和优先级,优先级主要用来解决对冲突的控制.

1.2.3.2 外部结构

面向对象的工作流网的外部结构是内部对象与不同外部对象之间的联系,通过相关的输入、输出端口和触发机制来实现.对象间可以收发不同的消息,从而实现了对象的封装和通信.

2 水利枢纽业务过程建模

2.1 建模

以某水利枢纽的灌区抽水站为例,图2所示是一个完整的抽水站的调度操作业务过程面向对象的工作流网模型.

在整个水利枢纽中,笔者把抽水站对象(CSZ_Object)作为一个工作流子网看待.在其内部,工程科(GCK)状态在请求获得外部对象防洪调度管理(FHDDGL)给予的调度命令(Kddml)标记后,开始执行下达(Txd)迁移到值班长(ZBZ)状态,同时将下达后的Kddml汇报给外部对象防洪抗旱办公室(FHDDGL_FXKHB_Object).随后ZBZ获得工作票(Kgzp)标记,开始执行签字(Tqz)迁移到操作员(CZY)状态;CZY获得Kczp标记后开始执行操作(Tcz)迁移转移到机组(JZ)状态,完成操作,同时将操作的结果汇报给ZBZ状态.为应对必要的特定任务可以由其他对象触发相应的事件,完成相应的操作.

在CSZ_Object对象子网中,从业务过程的角度看,用户不仅可以通过面向对象的工作流网的工作流图了解不同状态或部门之间的转换,而且可以通过在不同状态上的不同标记,弄清楚数据的流向;另外,可以通过迁移的外部调用及时地掌握同外部对象或部门间的关系,应对不同的突发事件,这在水资源配置和防洪调度中是非常重要的.

2.2 面向对象分析和描述

在完成形式化模型的描述(即建立了工作流网模型)后,更多关心的是计算机相关程序的实现.从工作流

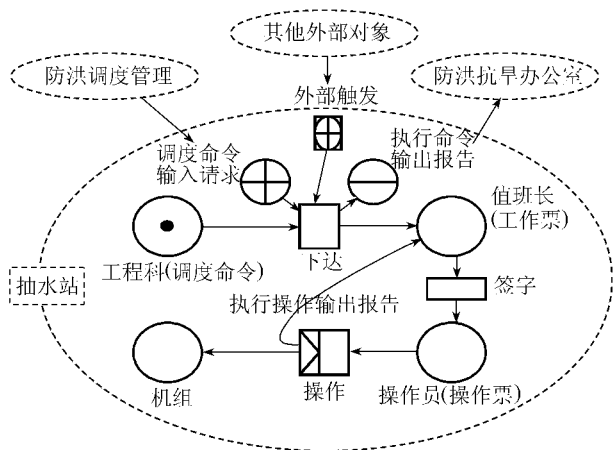


图2 抽水站的调度操作业务流程工作流网模型
Fig.2 WorkFlow-Net model for operation and business dealing processes of a pumping station

网的内部的结构和元素来看,工作流网模型完全满足了面向对象分析的要求.

2.2.1 面向对象的状态转换

通过以上分析,很容易在面向对象的工作流网的基础上建立起它的对象模型,并渐次实现向面向对象语言的转化,从而实现对工作流网模型的仿真验证.

状态转换图的基本元素是状态和变迁^[2,7],为了在枢纽运行调度实施中清晰地表示出相关命令的转移情况,笔者参照 UML(统一建模语言)的描述特点,弥补状态图中对数据表现的不足,增加了数据的表达成分,以完整地表达面向对象工作流网的相关要素.

图 3 是抽水站对象与外部对象间的状态转换图,图 4 是抽水站对象内部对象间的状态转换图.从图 3 和图 4 可以清晰地看出抽水站对象同外部、内部对象之间的状态转移关系以及了解数据的流动.

2.2.2 面向对象的语言转换

根据抽水站面向对象的工作流网模型(图 2)和状态转换图(图 3、图 4),可以实现向程序设计类型的转化(这里使用面向对象的 Java 语言语法形式加以表述).

a. (内部数据)面向对象的工作流网标记类型.根据面向对象的工作流网内部结构,有调度命令(Kddml)、工作票(Kgzp)、操作票(Kczp)、空(Null) 4 种标记类型,他们可以是复合类型数据的组成,甚至可以是一个更小的对象组成.以工程科状态为例,可用 Java 语言表示如下:

```
Public Class GCK{
    Public String Kddml ;
    .....
    Public void txd( )
}
```

b. (内部函数)迁移的动作.如图 4 所示,可以采用 3 个函数来完成下达(Txd)、签字(Tqz)、操作(Tcz)具体的实现:

```
Public Void Txd(Kddml_Token kddml ,Kgzp_Token Kgzp ){
    FHDDGL_Object Fhddgl1 = new FHDDGL_Object
    Gck gck1 = new GCK( );
    gck1.Kddml = Fhddgl1.Kddml_id ;
    .....
}
```

c. 内部对象接口信息.如图 3 所示,通过调用执行调度命令输入请求(Kddml_IN_requirie)函数,可以实现对外部对象请求给予 Kddml 标记,保持同防洪调度管理(FHDDGL)对象的动态联系;同样,执行命令输出报告(Kddml_OUT_response)函数可以响应外部对象防洪抗旱办公室(FHDDGL_FXKHB_Object)的请求,给予他们某种需求的信息.

可以定义以下接口:

```
Public interface InAndOut {
    Public void Kddml_IN_requirie( );
    Public void Kddml_OUT_response( );
}
```

d. (外部对象)触发信息.为应对水利枢纽运行调度中的突发事件,触发信息实现表示如下:

```
Protected void Out_Trigger_Transior( )
```

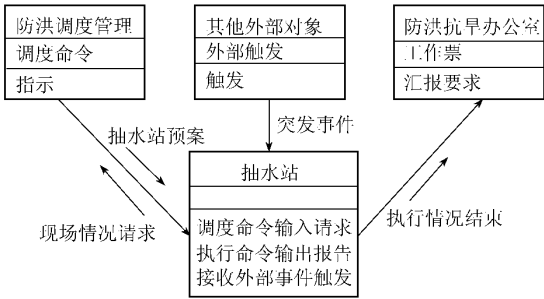


图 3 抽水站对象与外部对象间的状态转换

Fig.3 State transform between objectives of a pumping station and external objectives

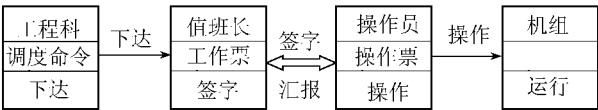


图 4 抽水站对象内部对象间的状态转换

Fig.4 State transform between internal objectives of a pumping station

```
Try{
    Tx( );
}
Catch( IOException e){
    System.io.out(" please excute trigger ");
}
}
```

e. 完整的对象描述.完整的对象描述表示如下：

```
Class CSZ implements InAndOut {
    GCK gck1 = new GCK( ); gck1.kddml = " gckkddml ";
    ZBZ zbz1 = new ZBZ( ); zbz1.Kgzp = " zbzKgzp ";
    CZY czy1 = new czy( ); czy1.kgzp = " czykgzp ";
    .....
}
```

3 结 束 语

利用基于 Petri 网原理的工作流网进行业务过程建模 将是工作流网建模研究的主要发展方向.在深入分析水利枢纽需求的基础上 ,建立业务过程模型 ,可以最大限度地提高水利枢纽实施信息化及调度管理自动化系统的成功率.

本文结合水利枢纽抽水站的业务过程实际 ,在分析'变迁'元素及网结构的基础上 ,提出一种面向对象工作流网模型.笔者使用面向对象的 Java 语言 ,实现了工作流网模型向面向对象语言的转化 ,为开发水利枢纽调度管理自动化系统提供了模型基础.

参考文献：

[1]徐立中 ,李文令.基于 CIMS 的水利枢纽体系结构及集成调度系统[J].计算机工程 2003 29(17) :76—79.
[2]WIL van der Aalst ,Kees van Hee.WorkFlow management :models ,methods and systems[M].北京 :清华大学出版社 ,2004.35—46 , 212 232—233.
[3]范玉顺.工作流管理技术基础[M].北京 :清华大学出版社 ,2001.1—5.
[4]WFMC.TC00—1003 The WorkFlow Reference Mode[S].
[5]袁崇义 .Peiri Nets(佩特里网) [M].南京 :东南大学出版社 ,1989.1—20.
[6]杨文龙 ,姚淑珍 ,吴芸.软件工程[M].北京 :电子工业出版社 ,2002.233—290.
[7]JACQUIE Barker.Beginning java objec[M].北京 :电子工业出版社 ,2001.161—218.

Objective-oriented WorkFlow-Net model for business dealing
process of hydro projects

WANG Hui-min¹ , KONG Ling-dong² , ZHU Yue-long² , WANG Jian-ying²

(1. Business School , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Computer and Information Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :In combination with the practical hydro projects , an objective-oriented WorkFlow-Net model for the business dealing process of pumping stations of hydro projects was developed , realizing the transform of the WorkFlow-Net model to the objective-oriented language. Some key techniques were discussed , including the extension of transition elements in the WorkFlow-Net model , the structure of the objective-oriented WorkFlow-Net model , the diagram for the transform of the WorkFlow-Net to objective-oriented state , the transform of languages , etc.

Key words :WorkFlow ; modeling ; Petri-Net ; objective-oriented ; hydro project