

基于多色集合理论的工作流过程交互建模^①

冉梅梅¹, 王晓华^{1,2}, 杨敏³, 侯丽娟⁴

¹(贵州大学 计算机科学与技术学院, 贵阳 550025)

²(遵义医学院附属医院 信息科, 遵义 563003)

³(遵义医学院 医学信息工程学院, 遵义 563003)

⁴(沙子坡中学 教务处, 铜仁 555202)

摘要: 为研究不同系统间工作流过程的交互问题, 基于多色集合理论构建了工作流过程交互矩阵和工作流过程交互多色图模型. 首先, 将元组与多色集合理论相结合, 形成多元素二元组多色集合与单元素二元组多色集合. 其次, 对围道矩阵进行扩展, 构成 K 元组围道矩阵和它的析取、合取、连接运算, 并对多色图中的节点进行区域划分以表示活动间交互所需的资源与消息. 最后, 构建系统间交互以及工作流过程交互模型, 用医院的 HIS 与 RIS 间工作流的交互为例进行验证.

关键词: 多色集合; 围道矩阵; 工作流过程

引用格式: 冉梅梅, 王晓华, 杨敏, 侯丽娟. 基于多色集合理论的工作流过程交互建模. 计算机系统应用, 2018, 27(2): 16-23. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6179.html>

Workflow Process Interaction Modeling Based on Polychromatic Set Theory

RAN Mei-Mei¹, WANG Xiao-Hua^{1,2}, YANG Min³, HOU Li-Juan⁴

¹(College of Computer Science and Technology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

²(Information Section, Affiliated Hospital of Zunyi Medical College, Zunyi 563003, China)

³(School of Medical Information Engineering, Zunyi Medical College, Zunyi 563003, China)

⁴(Academic Affairs Office, Shazipo Middle School, Tongren 555202, China)

Abstract: In order to study the interaction between different systems in the workflow process, the interaction polychromatic graph and interaction matrix of workflow process are constructed based on the polychromatic set theory. Firstly, we combine the tuples and polychromatic set theory to form multi-element binary polychromatic sets and single-element binary polychromatic sets. Secondly, we expand the contour matrix, constituting the K -tuple contour matrix and its disjunction, conjunctive, connected operations, and zone the nodes in the polychromatic graph to represent the resources and messages required for the interaction between the activities. Finally, we construct the interaction model between the system and the workflow process, with the interaction between the hospital HIS and RIS workflow as an example for verification.

Key words: polychromatic sets; contour matrix; workflow process

工作流建模一直是工作流研究领域热点方向之一. 对工作流的研究, 有以活动为中心研究工作流的资源管理与配置、动态变更与实例迁移以及工作流的路径求取算法等; 也有因为以活动为中心缺乏组织人员和

角色的重视而提出以角色为中心基于其它建模工具对工作流进行建模. 迄今为止, 基于 Petri Nets、Agent、UML 等建模工具产生了许多工作流模型. 其中, 西安交通大学的李宗斌、高新勤等人在文献[1,2]提出了工

^① 基金项目: 贵州省科学技术基金 (黔科合 J 字[2012]2356 号)

收稿时间: 2017-04-20; 修改时间: 2017-05-09; 采用时间: 2017-05-19; csa 在线出版时间: 2018-01-12

作流的动态变更和实例迁移模型以及工作流区域识别算法与排序规则,并指出动态变更主要是对工作流模型结构的添加/删除、结构转换和结构的组合,他们在文献[3]中通过多色集合理论建立相关的围道矩阵对工作流建模并给出了工作流路径求取算法,并在文献[4,5]中运用提出的离析运算为工作流过程推理和配置资源,实现工作流过程与工作流资源的集成,其中还对多色图的边进行了扩展,将边分为连接、与分、或分、与合、或合.北京航空航天大学软件工程研究院的徐亮、张莉等人在文献[6]通过扩展 UML 针对实时系统建立了实时工作流元模型,主要考虑了工作流中的时间约束和异常处理,对活动属性扩展了启动、执行时间与并发时间约束,最后还定义了实时工作流描述语言.同济大学的杨书新等人在文献[7]中提出了业务流程动态变更模型与业务过程实例动态迁移算法,其目的是解决工作流管理系统中流程柔性演进变化问题.南京大学的葛季栋等在文献[8]中用 Petri Nets 对工作流进行了分解并提出了面向交互的 Petri Nets 模型来对跨组织的工作流协同进行描述.复旦大学的赵静、赵卫东等人在文献[9,10]中基于角色的视角对工作流进行了研究,它们将提出了工作流日志挖掘与流程分解结合的角色识别算法,最终生成与业务流程相关的角色树,他们在文献[11]中还利用 agent 技术基于角色对工作流进行建模形成了一种面向角色的工作流多 agent 管理系统模型与原型.以上这些研究构建的工作流模型体现出了活动间的逻辑关系,缺乏活动间交互时涉及的资源等性质.

以活动为中心对工作流交互过程进行建模,不仅需要考虑到活动及其逻辑关系,还需要考虑到活动间消息的发送与接收以及相关资源的交互.多色集合理论是在传统集合的基础上与模糊数学、数理逻辑等知识相结合形成的.由于多色集合理论中对象的集合与元素都能被涂上不同的颜色来表示对象的性质,用该理论研究工作流的交互过程较易描述工作流中活动的静态属性与动态行为,并且通过本文提出的连接运算能够描述活动间交互涉及的消息与资源,由矩阵与相关的规则构成工作流过程交互多色图模型,使活动与交互的消息和资源进行良好的整合.

课题组前期在研究系统交互的过程中对多色集合理论进行了扩展,为便于描述系统的动态行为,因此提出了围道分割的思想,将对象的整体性质 $F(A)$ 分割成

静态属性 $F_S(A)$ 与动态行为 $F_D(A)$, $F(A)=F_S(A)\cup F_D(A)$. 并提出了单元素多色集合,其中的对象集合 A 仅包含了一个元素,那么对象的个人颜色就与对象的整体着色相同,并在此基础上提出了实体聚合运算与功能聚合运算.为了用围道矩阵描述活动的交互关系,在矩阵中使用 0、1、-1、2、-2 分别表示活动间的顺序、并分、或分、并合、或合关系.

本文基于多色集合理论对工作流过程中活动的交互进行研究,有助于工作流整体建模.首先提出单元素二元组多色集合与多元素二元组多色集合;其次为了能够完整地描述一个对象的静态性质与动态行为,对普通的围道布尔矩阵进行了扩展,使围道的边不再局限于单个的元素而是由多元组构成,并对多色图中的节点进行了区域的划分;最后,对工作流交互过程的步骤进行分析,用 HIS 与 RIS 间的交互为例验证.

1 基本理论

1.1 多色集合理论

多色集合理论是在传统集合的基础上与模糊数学、数理逻辑以及矩阵相关知识结合而成的,它的特点是使用相同的数学模型来仿真不同的对象^[12],由多色集合与多色图两部分构成.

1.1.1 多色集合^[13]

多色集合是在传统集合基础上对集合的整体及其元素进行着色,用以表示对象的性质、属性、参数等特性以及对象与元素、元素与元素之间的关系.如果集合中存在着多个元素, $f(a_i)$ 表示元素 $a_i \in A$ 的个人颜色, $F(A)$ 表示对象 A 的整体着色, $F(A)=\{F_1(A), F_2(A), \dots, F_j(A), \dots, F_p(A)\}$, 统一的颜色布尔向量空间 F 包含了集合的整体着色 $F(A)$ 和元素 a_i 的个人着色 $f(a_i)$, 即 $F \supseteq F(A); F \supseteq F(a_i), i=1,2,\dots,n$. 集合 A 与集合 A 的统一着色 $F(A)$ 构成的布尔矩阵如公式 (1) 所示^[14].

$$\|c_{i(j)}\|_{A,F(A)} = [A \times F(A)]$$

$$= \begin{bmatrix} F_1 & \cdots & F_j & \cdots & F_m \\ c_{1(1)} & \cdots & c_{1(j)} & \cdots & c_{1(m)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{i(1)} & \cdots & c_{i(j)} & \cdots & c_{i(m)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n(1)} & \cdots & c_{n(j)} & \cdots & c_{n(m)} \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ \vdots \\ a_i \\ \vdots \\ a_n \end{matrix} \quad (1)$$

多色集合的表达式为公式(2)^[15].

$$PS = (A, F(a), F(A), [A \times F(a)], [A \times F(A)], [A \times A(F)]) \quad (2)$$

若集合中只有一个元素,那么 $f(a)=F(A)$, 其多色集合的表达式为公式(3).

$$SPS = (A, F(a)) \quad (3)$$

被称为单元元素多色集合. 并且还提出了单元元素多色集合的析取与合取运算. 使得在描述单个元素时模型更加的简化^[16].

1.1.2 多色图^[17]

多色图是在普通图 $G=(V, E)$ 上对其边与节点进行着色, 并且多色图的边与节点都是由多色集合构成, 丰富了多色图的表达能力. $PG=(F(G), PS_A, PS_C)$, 其中 $F(G)$ 是图的整体着色, PS_A 是节点的多色集合, PS_C 是边的多色集合. 如果节点和边均有颜色, 那么 $F(G)=F(A) \cup F(C)$; 如果节点无颜色, 那么 $F(G)=F(C)$; 反之 $F(G)=F(A)$. 在某些特殊情况下, 节点与边均无颜色, 那么多色图就退变为普通图, 因此, 普通图也是特殊的多色图.

1.1.3 二元组多色集合

为更好地描述交互对象, 提出二元组多色集合, 对象间只要存在着交互行为, 必有一方是调用方, 一方是响应方. 将对象、个人颜色、整体着色都分割成二元组的形式, $A=<A_I, A_P>$, $F(A)=<F_I(A), F_P(A)>$, 其中, A_I 表示对象的调用方, A_P 表示对象的响应方, $F_I(A)$ 表示对象调用方的整体性质, $F_P(A)$ 表示响应方的特性. 多色集合中分割后的元素之间可能存在着某些联系, 例如, 对象 a_i 可能会调用对象 b_p , 形成调用-响应布尔矩阵 $[A_I \times A_P]$ 等.

	$<F_1^1, F_1^2, \dots, F_1^K>$	$<F_2^1, F_2^2, \dots, F_2^K>$	$<F_3^1, F_3^2, \dots, F_3^K>$...	$<F_J^1, F_J^2, \dots, F_J^K>$
a_1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	...	c_{1j}
a_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	...	c_{2j}
a_3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	...	c_{3j}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
a_i	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	...	c_{ij}

其中, c_{ij} 是 K 元组, $c_{ij} = <b_i^1, b_i^2, b_i^3, \dots, b_i^K>$, b_i^j 的取值为 1 或 0, 如果 b_i^j 的值为 1, 说明 a_i 具有 F_i^j 性质, 如果 c_{ij} 中所有元素对应的值都为 1(0), 则可直接用 1(0) 表示.

(1) 析取计算

当集合 A 中包含多个元素时, 此时元素的整体着色就会与个人着色有区别, 会产生冗余的性质, 因此可以将典型的多色集合分割, 形成多元素二元组多色集合 (Multi-elements Binary Polychromatic Sets, MBPS), 见公式(4).

$$MBPS = \left(<A_I, A_P>, <F_I(a), F_P(a)>, <F_I(A), F_P(A)>, [A_I \times A_P], <[A_I \times F_I(A)], [A_P \times F_P(A)]>, <[A_I \times F_I(a)], [A_P \times F_P(a)]>, [F_I(A) \times F_P(A)] \right) \quad (4)$$

如果 A 中只有一个元素, 那么 $F(A)=F(a)$, 多元素二元组多色集合可以简缩, 称其为单元元素二元组多色集合 (Single Binary Polychromatic Sets, SBPS), 其表达式为公式(5).

$$SBPS = (<A_I, A_P>, <F_I(A), F_P(A)>, <[A_I \times F_I(A)], [A_P \times F_P(A)]>) \quad (5)$$

可以根据实际情况对成分进行增加或删除.

1.1.4 K 元组围道矩阵

用典型的围道矩阵描述对象的性质时, 围道的边都是对象的单个特征, 当一个对象存在着多个静态属性与动态行为时, 就会加大矩阵规模. 因此在围道矩阵中引入元组, 用元组将对象的静态属性与动态行为进行组合, 一方面可以减小矩阵的规模, 另外通过扩展的矩阵能够清楚地了解到对象的整体性质.

在 K 元组围道矩阵中, 矩阵的边是单个元素或多元组与多元组构成, 矩阵的值也不再是单个的布尔值, 也是由 K 元组组成, 并且 K 元组中的值是由 0, 1 组成, 便于矩阵之间进行运算. 其形式为公式(6).

K 元组矩阵的析取运算由原来布尔围道矩阵中单个元素的析取转换为元组与元组之间的析取运算. 如果围道表示功能元组, 那么元素的析取就能表示总体功能, 具体运算如公式(7).

方法的调用与响应,那么,方法 M 就应该分割成<调用方,响应方>,即 $M=<M_I, M_P>$,调用方与响应方的个人性质 $F(m)=<F_I(m), F_P(m)>$,即 $F_I(m)=(P_I, LV_I, R_I)$, $F_P(m)=(P_P, LV_P, R_P)$,多个方法组合会产生一些新的功能 $F(M)$,用多色集合描述系统间的交互过程步骤如下.

(1) 分析系统的某一模块中包含的类 Class,形成一个类集 C ;

(2) 将类中的静态属性抽象成 $F_S(C)$,动态性质抽象成为 $F_D(C)$,那么, $F_D(C)=(<M_I, M_P>, <F_I(m), F_P(m)>, <F_I(M), F_P(M)>)$;

(3) 对步骤(2)中的调用方和响应方的方法 M 分别进行描述,形成“方法—参数”、“方法—局部变量”、“方法—结果”的布尔矩阵,即 $[M \times P]$ 、 $[M \times LV]$ 、 $[M \times R]$;

(4) 方法之间的调用与响应形成方法交互布尔矩阵,即 $[M_I \times M_P]$;

(5) 利用本文提出的连接运算对步骤(3)与步骤(4)中的矩阵进行连接运算.最终形成 $[M_I \times <M_P, P_P, LV_P, R_P>]$ 的矩阵.

因此,系统间交互多色集合 SIBPS (System of Interaction between Polychromatic Sets) 可以描述为公式(10).

$$SIBPS = (C, F_S(C), <M_I, M_P>, <F_I(m), F_P(m)>, <F_I(M), F_P(M)>, [M_I \times <M_P, P_P, LV_P, R_P>]) \quad (10)$$

根据最后得出的4元组矩阵能明确地知道两个系统间交互涉及的方法以及调用方法后产生的结果.

3 作流过程活动交互

以活动为研究对象,工作流过程间的交互表现为活动之间消息的发送与接收以及相关资源的交互.为了构建出工作流过程交互的多色图模型,首先应该分析工作流中的活动、消息、资源,然后形成相关的普通围道矩阵;其次,对这些矩阵进行连接运算得出对象的完整描述矩阵;最后,利用相关规则形成多色图模型.工作流过程交互分析的流程图如图2所示.

3.1 规则

(1) 在矩阵 $[A \times A]$ 中,如果活动 a_i 与活动 a_j 之间对应的值不为空,则 a_i 是 a_j 前驱活动, a_j 是 a_i 后继活动.

(2) 如果矩阵中活动 a_i 的列的值全为空,则活动 a_i 是起始活动;如果活动 a_j 的行的值全为空,则 a_j 是终止活动.

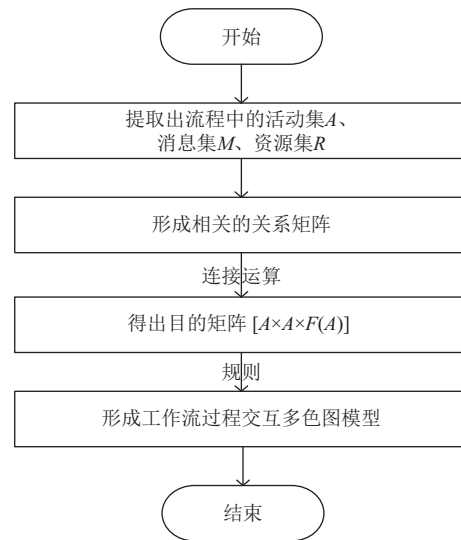


图2 工作流交互分析流程图

3.2 工作流过程交互分析

工作流过程间的交互从整体上来说表现为角色之间的交互,其可细化为活动之间的直接交互.在工作流过程交互中,以活动为研究对象,用集合 A 表示,活动间交互所需的数据、应用程序、约束条件等活动的性质用 $F(A)$ 描述,用 O 表示包含活动的对象角色, $F(O)$ 描述角色的性质,其中,角色之间是通过消息的传递进行交互的,因此,消息集 M 、部分活动集 G 是角色的性质.角色与活动形成布尔矩阵 $[O \times A]$,角色与其对应的性质用 $[O \times F(O)]$ 描述,工作流中活动间的交互表现为矩阵 $[A \times A]$,活动集 A 与活动性质形成矩阵 $[A \times F(A)]$.因此,工作流过程活动的交互用交互多色集合 IPS (Interaction Polychromatic Sets) 描述为公式(11).

$$IPS = (O, A, F(O), F(A), [O \times A], [O \times F(O)], [A \times A], [A \times F(A)]) \quad (11)$$

可将交互多色图划分为三部分,如果存在着分支结构,其中,左分支中的活动构成活动集 G_i ,右分支中的活动构成活动集 G_k ,剩余除起始逻辑活动与结尾逻辑活动外的活动构成 G_j .

3.2.1 工作流过程交互分析步骤

对工作过程的交互建模不是一蹴而就的,需要先分析交互中涉及的活动、消息、资源,然后构成相关的矩阵.

工作流过程交互步骤:

(1) 识别此过程中涉及的对象角色集 O 、活动集 A 、消息集 M 并形成 $[O \times F(O)]$;

(2) 形成活动交互矩阵 $[A \times A]$ 以及活动交互消息矩

阵 $[A \times A \times M]$ 、活动交互资源矩阵 $[A \times A \times R]$;

(3) 运用连接运算形成过程交互矩阵 $[A \times A \times F(A)]$,最后可形成交互多色图,并根据交互多色图形成部分活动集 G 以及活动集矩阵 $[G \times G]$.

文献[5,17]中提出了对多色图的边进行分类,活动间存在着五种关系:顺序、并分、或分、并合、或合.

表1 活动间关系标识

	顺序	并分	或分	并合	或合
标识值	0	1	-1	2	-2
标识箭头	→	↗	↘	↖	↕

3.2.2 工作流过程交互多色图建模

建立多色图模型前,需要完成3.2.1中工作流过程交互分析的前两步,然后再对相应的矩阵进行操作.

交互多色图的构成步骤:

(1) 利用3.1中的规则找到起始活动 a_i ;

(2) 在活动围道矩阵中找到起始活动 a_i 的后继活动 a_j ,如果 a_i 与对应 a_j 的值为0,则用顺序关系进行描述;如果有多个后继活动并且对应的值为1,则用并分关系进行描述;如果有多个后继活动并且值为-1,则用或分进行描述;如果对应的值为2,则用并合描述;如果对应的值为-2,则用或合描述;

(3) 根据矩阵 $[A \times A \times M]$ 、 $[A \times A \times R]$ 分别找到相应活动的接收的消息与活动发出的信息流;

(4) 如果用3.1中规则判断活动 a_k 是否是终止活动,若不是终止活动,继续步骤(2)、(3);反之,结束.

表2 活动集A各元素含义

元素	b_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	b_2
含义	开始	挂号	门诊分诊	门诊就诊	划价收费	治疗	放射科检查预约	检查拍片	书写检查报告	图像传输至PACS存储	结束

表3 消息集M各元素含义

元素	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
含义	病人登记注册	预约排队	医生叫号	医生开具医嘱	检查申请	检查过程结束	检查报告信息传输	医生诊断

表4 资源集R各元素含义

元素	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
含义	病人信息	挂号信息	医嘱信息	收费单据	检查申请信息	检查预约信息	检查过程信息	影像资料	检查报告信息	诊断信息

如果活动 a_j 收到 a_i 的消息 M_k ,则矩阵中对应的值为1,否则,值为0,见图4.

通过前面所提出的自由连接运算,将活动间事件关系矩阵与活动间信息流关系矩阵整合成一个矩阵,能够清楚地知道活动间交互的消息与所需要的信息资

4 实例

医院 HIS 与 RIS 的门诊过程中,病人首先到挂号处排队挂号,然后到门诊分诊台分诊,门诊医生利用门诊医生工作站根据需要开出放射检查医嘱,收费处根据检查医嘱进行划价收费,检查科医生根据检查申请信息进行检查预约安排,最后病人根据时间安排到放射科做检查,放射科医生根据放射科医生工作站对检查影像进行读片,并书写检查诊断报告,同时检查完后,影像图片会自动上传至 PACS,门诊医生可以通过医生工作站查看病人影像检查报告并进一步作出治疗方案.

此过程中,对象角色包含病人 Patient, HIS, LIS, 即 $O=(\text{Patient}, \text{HIS}, \text{LIS})$.

活动集 $A=(b_1, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, b_2)$,其中, b_1, b_2 是无意义的活动,只是表示活动的开始与结束.

消息集 $M=(M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8)$.

资源集 $R=(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10})$.

三个集合中元素含义见表2至表4.用0、1、-1、2、-2分别标识活动间的顺序、并分、或分、并合、或合,可以构建出活动关系矩阵 $[A \times A]$,见图3.若活动 a_i 与 a_j 无任何关系,则其对应的值为空;若为0,表示存在顺序关系;若为1,表示并分关系;若为-1,表示或分关系;若为2,表示并合关系;若为-2,表示或合关系.

源,如图5所示.根据图5以及3.1中的规则和表1可以形成工作流过程交互多色图模型,如图6所示.

由图7可知, G_1 与 G_2 对应的值为1, G_3 与 G_1 对应的值为1,HIS与RIS之间工作流交互.图8矩阵中,若活动 a_i 与 a_j 之间存在信息流,则值为1,反之,为0.

	b_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	b_2
b_1		0									
a_{11}			0								
a_{12}				0							
a_{13}					-1	-1					
a_{14}							0				
a_{15}											-2
a_{21}								0			
a_{22}									-1	-1	
a_{23}				0							-2
a_{24}											-2
a_2											

图3 活动交互矩阵 $[A \times A]$

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
(a_{11}, a_{12})	0	1	0	0	0	0	0	0
(a_{12}, a_{13})	0	0	0	0	0	0	0	0
(a_{13}, a_{14})	0	0	0	1	0	0	0	0
(a_{13}, a_{15})	0	0	0	0	0	0	0	1
(a_{14}, a_{21})	0	0	0	1	1	0	0	0
(a_{21}, a_{22})	0	0	1	0	0	0	0	0
(a_{22}, a_{23})	0	0	0	0	0	1	0	0
(a_{22}, a_{24})	0	0	0	0	0	1	0	0
(a_{23}, a_{13})	0	0	0	0	0	0	1	0
(b_1, a_{11})	1	0	0	0	0	0	0	0

图4 活动间消息关系矩阵 $[A \times A \times M]$

	$\langle M_2, R_1 \rangle$	$\langle M_2, R_2 \rangle$	$\langle M_3, R_1 \rangle$	$\langle M_3, R_2 \rangle$	$\langle M_4, R_3 \rangle$	$\langle M_8, R_{10} \rangle$	$\langle M_5, R_4 \rangle$	$\langle M_5, R_5 \rangle$	$\langle M_3, R_6 \rangle$	$\langle M_6, R_7 \rangle$	$\langle M_6, R_8 \rangle$	$\langle M_7, R_9 \rangle$	$\langle M_1, R \rangle$
(a_{11}, a_{12})	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(a_{12}, a_{13})	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(a_{13}, a_{14})	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(a_{13}, a_{15})	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(a_{14}, a_{21})	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
(a_{21}, a_{22})	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
(a_{22}, a_{23})	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
(a_{22}, a_{24})	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
(a_{23}, a_{13})	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
(b_1, a_{11})	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\langle 1, 0 \rangle$

图5 活动过程交互矩阵 $[A \times A \times F(A)]$

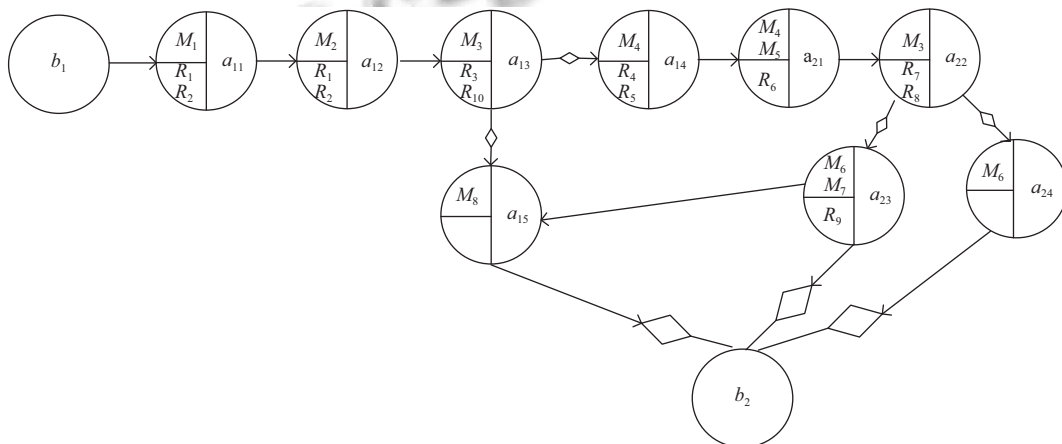


图6 工作流过程交互多色图

	G_1	G_2	G_3	G_4
G_1	0	1	0	0
G_2	0	0	0	0
G_3	1	0	0	0
G_4	0	0	0	0

图7 矩阵 $[G \times G]$

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
(a_{11}, a_{12})	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(a_{12}, a_{13})	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(a_{13}, a_{14})	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(a_{13}, a_{15})	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
(a_{14}, a_{21})	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
(a_{21}, a_{22})	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
(a_{22}, a_{23})	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
(a_{22}, a_{24})	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
(a_{23}, a_{13})	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

图8 活动间信息流关系矩阵 $[A \times A \times R]$

5 总结

本文采用多色集合理论对不同系统间 workflows 过程的交互进行了研究, 将元组与多色集合相结合, 提出 K 元组围道矩阵以及它的析取、合取与连接运算, 有利于描述对象的整体性质, 通过扩展的 K 元组围道矩阵能够同时描述对象的静态属性与动态行为. 运用该运算对工作流交互中的消息以及资源进行整合, 建立了工作流交互多色图模型. 该模型中不仅体现了活动及其逻辑关系, 还描述了与活动相关的性质与行为. 但是, 有关工作流过程活动间交互产生的安全问题没有进行考虑, 下一步将对工作流交互中涉及的安全问题展开研究.

参考文献

- 高新勤, 李宗斌, 杜轩. 工作流管理系统动态变更模型与实例迁移方法研究. 计算机集成制造系统, 2008, 14(8): 1521–1528.
- Gao XQ, Wang XP, Li Y, *et al.* Workflow dynamic change and instance migration approach based on polychromatic sets theory. International Journal of Computer Integrated

Manufacturing, 2016, 29(4): 386–405. [doi: 10.1080/0951192X.2015.1034181]

- 朱景, 李宗斌, 高新勤. 基于多色集合的工作流建模及路径求取算法. 西安交通大学学报, 2006, 40(3): 348–352.
- 高新勤, 李言, 杨明顺, 等. 基于多色集合析取运算的工作流资源管理与配置方法. 计算机集成制造系统, 2011, 17(9): 1905–1912.
- Gao XQ, Xu LD, Wang XP, *et al.* Workflow process modelling and resource allocation based on polychromatic sets theory. Enterprise Information Systems, 2013, 7(2): 198–226. [doi: 10.1080/17517575.2012.745617]
- 徐亮, 张莉, 樊志强. 一种基于 UML 的实时工作流建模方法研究. 计算机研究与发展, 2010, 47(7): 1184–1191.
- 杨书新, 王坚, 马福民. 工作流管理系统的流程柔性动态变更研究. 计算机应用, 2006, 26(11): 2736–2738.
- 葛季栋, 胡海洋, 周宇, 等. 一种基于不变量的工作流协同模型分解方法. 计算机学报, 2012, 35(10): 2169–2181.
- 赵静, 赵卫东. 基于工作流日志挖掘的流程角色识别. 计算机集成制造系统, 2006, 12(11): 1916–1920. [doi: 10.3969/j.issn.1006-5911.2006.11.032]
- 赵卫东, 戴伟辉. 基于角色的跨组织工作流研究. 系统工程与电子技术, 2003, 25(8): 954–958.
- 赵卫东, 黄丽华. 面向角色的多 agent 工作流模型研究. 管理科学学报, 2004, 7(2): 55–62.
- 高新勤, 李宗斌, 赵姗姗. 基于多色集合理论的概念设计建模和推理技术研究. 中国机械工程, 2006, 17(3): 255–259.
- Li ZB, Xu LD, Zhao SS. Polychromatic sets theory and its application in enterprise information systems. In: Tjoa AM, Xu L, Chaudhry SS, eds. Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems. IFIP International Federation for Information Processing. Boston, MA: Springer, 2006. 721–728.
- 维·维·巴伏洛夫, 李宗斌, 高峰. 多色集合在加工系统建模与分析时的应用. 西安交通大学学报, 2001, 35(9): 926–929, 986.
- 李丹. 基于多色集合的冷链物流仓储流程优化研究[硕士学位论文]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
- 杨敏, 王晓华, 冉梅梅. 基于多色集合理论的两系统间互操作方法. 计算机系统应用, 2017, 26(9): 128–134. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005930]
- 李春玲. 基于多色图理论的离散制造企业生产物流系统建模与优化[硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳大学, 2014.
- 王颂, 李云龙, 陈富民. 基于多色集合的飞机连接装配工艺规划与资源配置. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 411–420.