

workflow模型中多粒度时间约束描述及其分析^{*}

杜栓柱⁺, 谭建荣, 陆国栋

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

Multi-Granularity Time Constraints Modeling and Analysis of Workflow Model

DU Shuan-Zhu⁺, TAN Jian-Rong, LU Guo-Dong

(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

+ Corresponding author: Phn: 86-571-87951273, Fax: 86-571-87951273, E-mail: shuanzhu@163.com

<http://www.zju.edu.cn>

Received 2003-01-06; Accepted 2003-07-16

Du SZ, Tan JR, Lu GD. Multi-Granularity time constraints modeling and analysis of workflow model.

Journal of Software, 2003,14(11):1834~1840.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1834.htm>

Abstract: It is desired that time constraints of a workflow model can be measured by more than one granularities for distributed processes. Aiming at the multi-granularity time constraints problems, a workflow model, MG-TWF, is proposed. By the definition of multi-granularity relative time constraints, multi-granularity absolute time constraints and multi-granularity time constraints workflow networks, multi-granularity time constraints of MG-TWF are described from MG-TWF's static building stage, dynamic running stage and workflow networks structure. In addition, consistency analysis methods of multi-granularity relative time constraints, multi-granularity absolute time constraints and multi-granularity time constraints workflow networks are developed. Finally presented a case study is presented using the consistency analysis methods of MG-TWF.

Key words: time constraint; multi-granularity; workflow model; consistency

摘要: 流程的分布性要求 workflow模型中时间约束可以采用不同的时间粒度来度量.为此,定义了 workflow模型 MG-TWF.通过多粒度相对时间约束、多粒度绝对时间约束及多粒度时间约束 workflow网概念,从 MG-TWF模型的静态建立阶段、动态运行阶段及模型的网结构方面描述其多粒度时间约束.并在此基础上建立了 MG-TWF模型的多粒度时间约束 workflow网、多粒度相对时间和多粒度绝对时间约束一致性问题的一般分析方法.最后给出一个具体 MG-TWF模型的一致性分析实例.

关键词: 时间约束;多粒度; workflow模型;一致性

中图法分类号: TP311 文献标识码: A

随着市场的全球化,现代企业的业务过程逐渐趋于分布性、协同性和依赖性,时间成为影响业务过程的重

^{*} Supported by the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA412011 (国家高技术研究发展计划(863))

第一作者简介: 杜栓柱(1971—),男,山西汾西人,博士生,主要研究领域为 workflow建模理论及技术,企业应用集成.

要素。workflow 模型作为 workflow 管理系统(workflow management system, 简称 WFMS)的起点, 对企业业务过程逻辑及其业务活动依赖关系进行抽象表示, 因而具有时间约束描述功能的时间 workflow 模型已成为当前 workflow 建模研究的重点^[1,2]。在时间 workflow 模型研究上已取得了许多成果: 文献[3]建立了面向多时区的超级时间约束模型, 分布于不同时区的业务活动具有不同的时间轴, 其中一个作为参考轴, 并将其他轴的时间映射至参考坐标轴; 文献[4]提出了面向生产型的时间约束可视化模型, 用活动持续空间及实例空间分别表示流程建立时相对及运行时绝对时间约束, 并证明了时间约束的相对和绝对一致性; 文献[5]基于排队理论研究了时间约束 workflow 模型中的关键路径问题, 提出了计算关键路径的 CPI 算法。上述工作分别从 workflow 模型中所涉及的时区、相对和绝对时间、关键路径概念等角度对时间约束进行了描述, 建立了适于不同业务过程的时间约束 workflow 模型。

由于流程的分布性, 一个流程往往由分布于不同地区、不同企业的不同参与者完成, 流程中对业务活动的描述存在不同的时间度量标准, 因而要求同一 workflow 模型或具有互操作性的两个模型中时间约束可采用不同的时间粒度度量, 单一时间粒度的 workflow 模型可看作多粒度时间约束 workflow 模型的特例。

为此, 通过对业务过程中多粒度时间性质分析, 我们建立了多粒度时间约束 workflow 模型 MG-TWF, 分析了其时间一致性, 并给出了具体应用实例。

1 workflow 模型中多粒度时间约束描述

1.1 时间多粒度性概念

workflow 模型中的时间多粒度性是指, 在描述与过程及活动相关的时间约束时, 采用不同的时间度量标准, 如秒、小时、天、工作日、周等。模型中的多个时间粒度组成时间粒度空间, 各个粒度之间存在确定或不确定的约束关系。对粒度自身描述则涉及时间单元(TU)概念。时间单元是指时间点描述时采用的最小时间刻度, 如一个时间点描述为:(时区)年-月-日 时:分:秒, 则“秒”为其时间单元; 时间点“(HKT)2002-10-31”的时间单元为“日”。在下述时间 workflow 模型中, 我们定义 6 种时间单元: 秒、分、时、日、月、年, 其中“秒”为最小时间单元。

定义 1(时间空间). 时间空间是一个时区内以任意时间单元为刻度的所有时间点的集合, 即 $TS = \bigcup_{i \in N} p_i(i)$, ($t \in TU$), 其中 $p_i(i)$ 是时间单元为 t 的第 i 个时间点。

在时间 workflow 模型中, 任意时间单元的时间点起点可根据业务过程的开始时刻确定。如某流程的开始执行时刻为“(HKT)2002-01-01 08:00:00”, 则可分别设定 $p_1(1)=(HKT)2002-01-01 00:00:00$, $p_2(1)=(HKT)2002-01-01 00:00:00$, $p_3(1)=(HKT)2002-01-01 00$, $p_4(1)=(HKT)2002-01-01$, $p_5(1)=(HKT)2002-01$, $p_6(1)=(HKT)2002$, 表示时间单元为秒、分、时、日、月、年的时间起点。同一时区中的时间是一个线性偏序集, 不同时区中的时间点, 可以通过时区映射转化至同一时区^[6]。下文均假设时间点位于同一时区, 时间点中不再引入时区概念。

定义 2(时间粒度). 时间粒度是基于基准时间从正整数向时间空间的映射, 即 $TG(i) \in TS \vee TG(i) \subset TS$, 其中 $i \in N$, 表示粒度索引。基准时间是时间粒度映射的起点时间。设 $i < j, i, j \in N$, 当 $TG(i), TG(j)$ 的基准时间相同时:

① 若 $TG(i) \in TS$, 则 $TG(i) < TG(j)$;

② 若 $TG(i) \subset TS$, 则 $\forall x \in TG(i), \forall y \in TG(j), x < y$, 其中 $TG(i) \rightarrow s, TG(j) \rightarrow e$ 分别为区间 $TG(i)$ 的起点和终点时间。

时间粒度定义表明其既可以映射为时间空间内的一个点, 又可以是一个点的集合, 且同一粒度不同索引、基准时间相同时映射后时间点顺序与索引顺序相同。当时间粒度向时间空间映射时, 首先应确定映射的基准时间, 其次应确定时间空间中与其粒度相同或较小的时间单元为映射单元。如粒度“工作日(W -Day)”, 则映射至时间单元为“日”的时间点。当基准时间为 2002-10-12 时, W -Day(1)=2002-10-14。在 workflow 静态建立阶段, 起始活动基准时间设为一个时间单元起点, 其后继活动的基准时间由起始活动和后继活动之间的最大静态时间间隔与起始活动基准时间相加求得; 在工作流动态执行阶段, 基准时间的确定是一个动态过程, 由每一活动执行的开始时间或结束时间来确定。

设 $x, y \in N \wedge x \leq y$, $TG(x, y)$ 表示以 TG 为时间粒度, 期间在 x 和 y 之间的时间点集, 即 $\exists i \in N, x \leq i \leq y, TG(i) \in TG(x, y) \vee TG(i) \subset TG(x, y)$ 。

一般来说,在一个粒度空间中,一个时间粒度可由较小的时间粒度周期性的聚合组成,称这种关系为时间粒度聚合关系.

定义 3(时间粒度聚合关系). 时间粒度 TG 和 TG' ,若 $\forall i \in N, TG(i) = \bigcup_{j \in M} TG'(j), M \subset N$, 则称 TG 为 TG' 的并;

若 TG 为 TG' 的并,即 $TG(i) = \bigcup_{k=1}^r TG'(j_k), r \in N, \exists h, s \in N, TG(i+h) = \bigcup_{k=1}^r TG'(j_k+s), r \in N$, 则称 TG 为 TG' 的聚合, TG' 为 TG 的子粒度,表示为 $TG = \bigcup TG'$.

如图 1 所示,时间粒度 TG 为 TG' 的聚合, $TG(1) = TG'(1) \cup TG'(2)$, 其中 $TG(1+1) = TG'(1+3) \cup TG'(2+3), TG(2+1) = TG'(4+3) \cup TG'(5+3), \dots$, 即 $h=1, s=3$.

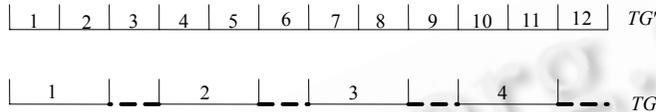


Fig.1 The group-into relationship of time granularity

图 1 时间粒度聚合关系

若 $TG(x,y)$ 中 TG' 为 TG 子粒度, $TG(x) = \bigcup_{k=1}^r TG'(j_k) (r \in N)$, 则 $TG(x,y)$ 在保持时间段相同约束下转换为 $TG'(x*r, y*r)$. 这种转换规则丧失了 $TG(x,y)$ 中以 TG 为时间粒度的约束. 如 $W\text{-Day}(2,6)$ 转换为 $Hour(2*24, 6*24)$, 而 $Hour$ 粒度并不能反映出“星期六”不在 $W\text{-Day}$ 约束范围内. 第 2.2 节中应用上述转换规则时, 丢失的信息可以通过第 2.3 节的一致性分析而重新验证.

同理, $TG'(j)$ 可转换为 $TG(A(j/r))$. 当 j 可整除 r 时, $A(j/r) = j/r$; 当 j 不可整除 r 时, $A(j/r) = (j \bmod r) + 1$. 如 $Hour(2,30)$ 转换为 $Day(1,2)$.

1.2 多粒度相对时间任务约束描述

时间 workflow 模型中的相对时间是指模型定义时的静态设定时间, 包括活动的最小、最大执行时间及两个活动之间流程传输的最小、最大时间.

设 workflow 中任意活动节点 $a(i) (i \in N)$, 当时间粒度为 TG 时, $a(i)$ 的相对执行期间为

$$d_a(i) = TG(m_a(i), M_a(i)),$$

$m_a(i), M_a(i)$ 分别表示节点 $a(i)$ 以 TG 为粒度时设定的最小和最大执行期间. 若 $m_a(i) = M_a(i) = 0$, 则 $a(i)$ 为逻辑或决策节点(虚节点), 该类节点执行不消耗时间.

设 workflow 中两个活动之间流程 $f(k) (k \in N)$, 当时间粒度为 TG 时, $f(i)$ 的相对传输时间为

$$d_f(k) = TG(m_f(k), M_f(k)),$$

$m_f(k), M_f(k)$ 分别表示流程 $f(k)$ 以 TG 为粒度时设定的最小和最大传输时间. 若 $m_f(k) = M_f(k) = 0$, 则 $f(k)$ 表示的两个活动之间传输时间可以略去不计, 即其前驱活动的执行结束时间为直接后继活动的执行开始时间.

1.3 多粒度绝对时间任务约束描述

时间 workflow 模型中的绝对时间是指模型执行时的动态运行时间, 包括活动的实际执行时间段及两个邻接活动之间流程传输的实际消耗时间.

设 workflow 中任意活动节点 $a(i) (i \in N)$, 其相对时间约束 $d_a(i) = TG(m_a(i), M_a(i))$. $a(i)$ 的实际执行时间段 $D_a(i)$ 为 $D_a(i) = (p_i(b(i)), p_i(e(i))) (b, e \in N \wedge b \leq e)$, 其中 t 为 TG 在时间空间中映射单元, $p_i(b(i))$ 和 $p_i(e(i))$ 分别表示节点 $a(i)$ 实际执行开始时间和结束时间, 即 $p_i(b(i)), p_i(e(i)) \in TS$. 任务 $a(i)$ 执行实际损耗时间 $E_a(i)$ 为 $E_a(i) = p_i(e(i)) - p_i(b(i)) + 1$.

设 $a(i)$ 与其直接后继活动 $a(j)$ 之间的流程为 $f(k)$. $f(k)$ 的相对传输时间和 $a(j)$ 相对时间约束粒度分别为 TG', TG'' . 若 TG, TG' 和 TG'' 子粒度为 TG , 则 $D_a(j) = (p_i(b(j)), p_i(e(j)))$, $f(k)$ 传输实际时间段 $D_f(k)$ 为

$D_f(k) = (p_i(e(i)), p_i(b(j)))$, 即 $f(k)$ 在活动 $a(i)$ 的结束时间触发, 在活动 $a(j)$ 的开始时间传输完成. $f(k)$ 执行实际损耗时间 $E_f(k)$ 为 $E_f(k) = p_i(b(j)) - p_i(e(i)) + 1$.

1.4 多粒度时间约束工作流网描述

工作流网是 workflow 模型的有向网络图表示, 可描述业务过程中并行、串行、循环等控制结构, 其节点为过程中活动, 包括控制路由的虚活动节点和处理具体业务的实活动节点^[7], 其中虚活动节点不存在时间约束. 为了描述两个实活动节点之间的时间约束, 我们引入活动间多粒度时间约束概念. 若工作流网中活动间时间约束及活动自身时间约束均采用多粒度时间描述, 则工作流网称为多粒度时间约束工作流网(MG-TWF).

设多粒度时间约束工作流网中邻接活动节点 $a(i), a(j) (i, j \in N)$ 时间粒度为 TG 时 $a(i)$ 和 $a(j)$ 间的时间约束 d'_a 表示为 $d'_a(i, j) = TG(s_a(i, j), e_a(i, j))$, 其中 $s_a(i, j), e_a(i, j)$ 分别表示节点 $a(i), a(j)$ 以 TG 为粒度时所处时间段的开始时间点和结束时间点.

定义 4(多粒度时间约束工作流网). 多粒度时间约束工作流网为有向图 $MG-TWF = (A, F, d_A, d_F, d'_A)$, 其中 A 为活动节点集, $F \subseteq A \times A$ 为邻接活动之间的流程集, d_A 为 A 中节点以不同时间粒度表示的相对时间段集, d_F 为 F 中流程以不同时间粒度表示的相对传输时间段集, d'_A 为 A 中活动节点间时间约束集.

如图 2 所示为描述一个企业中新产品开发流程的多粒度时间约束工作流网, 其中 a_1, a_2, \dots, a_6 为实活动节点, v_1, v_2 分别为与分支、与合并虚活动节点. 实活动节点上方的时间对表示该活动的相对时间约束, 如 a_1 上的“Day(4,5)”; 两活动流程间时间对从上到下分别表示活动间的时间约束及流程的相对传输时间约束, 如活动 a_1, a_2 间流程 f_1 上时间对“W-Week(1,2)”表示 a_1, a_2 之间时间约束, “Hour(1,3)”表示 f_1 的相对传输时间约束.

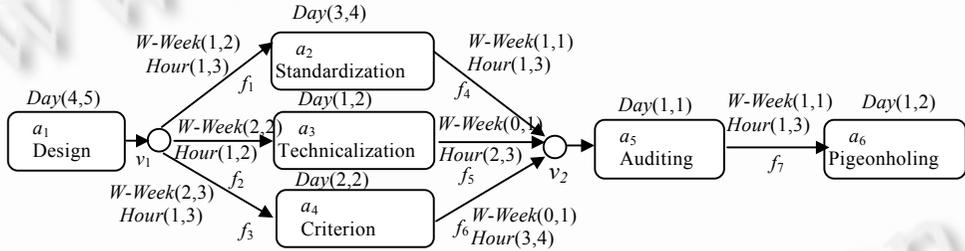


Fig.2 A time constraints workflow network with multi-granularity

图 2 多粒度时间约束工作流网示例

2 工作流模型中多粒度时间一致性分析

多粒度时间约束工作流模型的时间约束一致性问题分为 3 个层面: 首先是工作流网的时间约束一致性, 即判断活动间的时间约束是否存在潜在冲突; 其次是相对时间约束一致性, 即分析活动的静态设定时间是否满足约束条件; 最后是绝对时间约束一致性, 即分析过程运行中活动的实际执行时间是否满足约束条件.

2.1 多粒度时间约束工作流网一致性

定义 5(多粒度时间约束工作流网一致性). 多粒度时间约束工作流网 $MG-TWF = (A, F, d_A, d_F, d'_A)$ 是一致的, 如果它满足: $\forall d'_a(i, j) \in d'_A(i, j \in N), d_a(i) = TG(m_a(i), M_a(i)), d_a(j) = TG(m_a(j), M_a(j)), \exists m_a(i) \leq r \leq M_a(i), m_a(j) \leq s \leq M_a(j), TG(r) \in d_a(i), TG(s) \in d_a(j)$, 即至少在时间空间中分别存在一个满足 $a(i), a(j)$ 活动节点相对时间约束的时间点.

文献[8]证明了任意粒度的时间约束网(TGG)的一致性是一个 NP 完全问题, 而当粒度之间具有周期性(聚合)关系时, 则可通过 AC-G 算法在多项式计算时间内判断 TGG 的一致性. 与 TGG 相比, MG-TWF 中 A, F, d'_A 及 d_A 分别对应于 TGG 中的 W (节点变量域集)、 A (节点之间弧集)、 I (节点时间约束集) 及 Dom (节点变量域约束集). 具体 AC-G 算法参见文献[8].

在 MG-TWF 中应用 AC-G 算法时, 应将各个活动的 d_A 转化为活动节点的初始 Dom : 首先分别求得各个 $d_a(i), d_f(k)$ 的子粒度 TG, TG' , 若 TG 为 TG' 子粒度, 则将 $d_a(i)$ 根据第 1.1 节中规则转化为以 TG' 为粒度约束, 否则不变; 设定起始活动节点的基准时间, $Dom(a_1) = d_a(1)$, 然后以活动相对时间的约束粒度计算起始节点与其后继节

点的最大时间间隔,则 $Dom(a_i)$ 由该最大时间间隔与 $d_a(j)$ 的最大、最小执行期间求和而得.

求得各活动节点的初始变量域约束后,从起始活动节点开始,通过 AC-G 算法依次求得其邻接节点的变量域约束.若其中一个活动节点变量域约束与活动自身时间约束交集为空,则 workflow 网具有多粒度时间约束不一致性.由于 workflow 网一致性分析中时间粒度的转换只是在各个 $d_a(i),d_f(k)$ 发生,而各个活动间的时间约束粒度保持不变,因而粒度转换时丢失的信息并不影响 workflow 网一致性分析.

2.2 多粒度相对时间约束一致性

相对时间约束一致性即判断活动的静态设定时间是否满足实际需求的时间段约束.首先考虑邻接活动中多粒度相对时间约束情况.

设邻接活动 $a(i),a(j)(i,j \in N)$,相对执行期间分别为 $d_a(i),d_a(j),a(i)$ 和 $a(j)$ 之间流程 $f(k)(k \in N)$ 相对传输时间为 $d_f(k)$,而实际业务流程要求 $a(i),a(j)$ 的执行期间为 $d_a(i,j),d_a(i),d_a(j),d_f(k)$ 及 $d_a(i,j)$ 的时间约束粒度 TG_1, TG_2, TG_3 及 TG_4 的子粒度为 TG' ,则根据第 2.1 节中转换规则 $d_a(i)=TG'(m_a'(i),M_a'(i)),d_a(j)=TG'(m_a'(j),M_a'(j)),d_f(k)=TG'(m_f'(k),M_f'(k)),d_a(i,j)=TG'(s_a'(i,j),e_a'(i,j))$.

若 $m_a'(i)+m_a'(j)+m_f'(k) \geq s_a'(i,j) \wedge M_a'(i)+M_a'(j)+M_f'(k) \leq e_a'(i,j)$,则称活动 $a(i),a(j)$ 的静态设定时间与实际需求时间段约束一致.

当活动 $a(i),a(j)$ 非邻接时,将各约束转化为其子粒度描述,然后根据文献[6]中的 WfDA 算法计算活动之间的静态时间间隔 $d_a^s(i,j)$.若 $d_a^s(i,j) \subseteq d_a(i,j)$,则称 $a(i),a(j)$ 的静态设定时间与实际需求的时间段约束一致.

定义 6(多粒度相对时间约束一致性). MG-TWF 中, $\forall a(i),a(j) \in A$,若其静态设定时间与实际需求的时间段约束 $d_a(i,j)$ 一致,则称 MG-TWF 相对时间约束具有一致性.

2.3 多粒度绝对时间约束一致性

多粒度绝对时间约束一致性分析包括 3 个方面:首先判断活动的绝对时间是否满足其相对时间约束;其次判断当前活动与其直接前驱活动的绝对时间是否满足该两个活动节点之间的时间约束;最后根据当前活动的绝对时间、直接后继活动及其间流程的相对时间约束,预测当前活动执行至该后继活动时的绝对时间是否满足两活动间的时间约束.

设当前活动 $a(i)$ 的实际执行时间段 $D_a(i) = (p_i(b(i)), p_i(e(i)))$,相对时间约束为 $d_a(i) = TG(m_a(i), M_a(i))$; $a(j)$ 为 $a(i)$ 的直接前驱活动,实际执行时间段 $D_a(j) = (p_i(b(j)), p_i(e(j)))$, $a(i)$ 和 $a(j)$ 活动节点之间的时间约束为 $d_a(j,i) = TG(s_a(j,i), e_a(j,i))$; $a(k)$ 为 $a(i)$ 的直接后继活动,相对时间约束为 $d_a(k) = TG(m_a(k), M_a(k))$, $a(k)$ 和 $a(i)$ 活动节点之间的时间约束为 $d_a(i,k) = TG(m_a(i,k), e_a(i,k))$, $a(k)$ 和 $a(i)$ 间流程相对传输时间为 $d_f(x) = TG(m_f(x), M_f(x))$.将时间单元 t 等价为一个时间粒度,根据转换规则, $d_a(i) = t(m_a'(i), M_a'(i)), d_a(k) = t(m_a'(k), M_a'(k)), d_f(x) = t(m_f'(i), M_f'(i)), d_a(i,k) = t(s_a'(i,k), e_a'(i,k))$.

若 $m_a'(i) \leq E_a(i) \leq M_a'(i)$,则称活动 $a(i)$ 的绝对时间与其相对时间约束一致.通过分析活动的绝对时间与其相对时间约束一致性,可以弥补该活动相对时间约束一致性分析中粒度转换时丢失的信息.

令 $p_i(b(j))$ 为 $d_a(j,i)$ 映射至时间空间的基准时间,若 $p_i(b(j)) \geq TG'(s_a(j,i)) \wedge p_i(e(i)) \leq TG'(e_a(j,i))$,则称活动 $a(i)$ 及其前驱活动 $a(j)$ 的绝对时间与 $a(i), a(j)$ 节点之间时间约束一致.

令 $p_i(b(i))$ 为 $d_a(i,k)$ 映射至时间空间的基准时间,若 $p_i(e(i))+m_f'(x)+m_a'(k) \leq TG''(e_a(i,k))$,则称当前活动 $a(i)$ 的绝对时间满足 $a(i)$ 与其后继活动 $a(k)$ 的时间约束.

定义 7(多粒度绝对时间约束一致性). 在 MG-TWF 中, $\forall a(i) \in A$,若 $a(i)$ 绝对时间与其相对时间约束一致, $a(i)$ 及其直接前驱活动 $a(j)$ 的绝对时间与 $a(i), a(j)$ 节点间时间约束一致,且 $a(i)$ 的绝对时间与其直接后继活动 $a(k)$ 节点间时间约束一致,则称 MG-TWF 具有绝对时间任务约束一致性.

3 多粒度时间 workflow 模型分析示例

下面如图 2 所示的新产品开发 workflow 模型为例,阐述多粒度时间 workflow 模型的一致性分析过程.在如图 2 所示的多粒度时间约束 workflow 网中,包含 *W-Week*, *Day* 及 *Hour* 这 3 个具有聚合关系的时间粒度,其中 *Hour* 为子

粒度. 设起始活动 a_1 的开始执行时间为 2002-10-01, a_2 为当前活动. 下面首先分析 workflow 网时间约束一致性.

根据第 2.1 节中计算方法, 节点 $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 的初始变量约束分别为 $Day(4,5), Day(8,10), Day(6,8), Day(7,9), Day(10,12), Day(12,15)$, 则在 a_1 变量域 $Day(4,5)$ 设为已知条件下, 由 AC-G 算法: $Dom(a_2) := Dom(a_2) \cap Dom(a_1) \cap (a_1, a_2)$, 则 $Dom(a_2) = Day(8,10)$. 同理, 求得 $Dom(a_3), Dom(a_4), Dom(a_5), Dom(a_6)$ 分别为 $Day(8,8), Day(8,9), Day(10,12), Day(15,15)$. 因此, 各个活动节点的变量域都为非空, 在时间空间中存在满足各个活动相对时间约束的时间点, 该 workflow 网时间约束具有一致性.

其次分析多粒度相对时间约束一致性.

设业务过程中只对 a_1, a_2 之间实际需求时间段有约束 $d_a(1,2) = Day(7,11)$, 则其约束转化为子粒度 Hour 结果为 $d_a(1) = Hour(4*24, 5*24)$, $d_a(2) = Hour(3*24, 4*24)$, $d_a(1,2) = Day(7*24, 11*24)$, 则 $4*24 + 3*24 + 1 \geq 7*24$, $5*24 + 4*24 + 3 \leq 11*24$. 因此该 workflow 网满足多粒度相对时间约束一致性.

最后分析多粒度绝对时间约束一致性.

设活动 a_2 的执行开始时间为 2002-10-7, a_1, a_2 的执行结束时间分别为 2002-10-04, 2002-10-10, 则 $E_a(2) = 20021010 - 20011007 + 1 = 4$, 因此, $3 \leq E_a(2) \leq 4$, 活动 a_2 的绝对时间与其相对时间约束一致, 同理可得活动 a_1 的绝对时间与其相对时间约束一致.

以 2002-10-01 为基准时间, a_1, a_2 间约束 $W-Week(1,2)$ 映射至时间空间时 $W-Week(1) = 2002-09-30$, $W-Week(2) = 2002-10-12$. 则 $2002-10-01 \geq W-Week(1)$, $2002-10-10 \geq W-Week(2)$, 因此 $a(i)$ 与其前驱活动 $a(j)$ 的绝对时间与 $a(i), a(j)$ 节点之间时间约束一致.

以 2002-10-7 为基准时间, a_2, a_3 间约束 $W-Week(1,1)$ 映射至时间空间时 $W-Week(1) \rightarrow s = 2002-10-07$, $W-Week(1) \rightarrow e = 2002-10-12$. 将 f_4 传输时间 $Hour(1,3)$ 转换为 $Day(1,1)$, 则 $2002-10-10 + 1 + 1 \leq W-Week(1) \rightarrow e$, 则当前活动 $a(2)$ 的绝对时间满足 $a(2)$ 与其后继活动 $a(5)$ 间的时间约束.

因此, 该 workflow 网执行至活动 $a(2)$ 时, 其具有多粒度绝对时间约束一致性.

4 结 语

随着企业业务过程的分布化, 要求 workflow 管理系统可以处理不同时间标准的业务流程, 为此, 首先要求 workflow 模型具有时间多粒度性. 本文针对 workflow 模型中多粒度时间约束问题, 提出了一种多粒度时间约束 workflow 模型 MG-TWF, 并给出了模型中的多粒度时间约束一致性问题一般分析方法. MG-TWF 模型具有以下特点:

(1) MG-TWF 模型继承了一般时间 workflow 模型中的静态时间及动态时间约束概念, 并将其扩展为多粒度相对时间及绝对时间约束, 能够方便地描述活动及活动之间流程的不同粒度时间约束.

(2) MG-TWF 模型引入了活动之间多粒度时间约束概念, 弥补了一般时间 workflow 模型中活动之间约束只可用时间间隔描述的缺陷, 能更准确、完整地描述活动之间的时间约束.

(3) 通过多粒度时间约束 workflow 网一致性及多粒度相对时间约束一致性分析, 能够在 MG-TWF 模型建立时的静态阶段检测其是否具有时间一致性; 通过多粒度绝对时间约束一致性分析, 能够在 MG-TWF 模型运行时的动态阶段预测其下一步执行是否满足时间约束一致性, 从而有助于决策.

致谢 在此, 我们向对本文的工作给予支持和建议的同行, 尤其是浙江大学工程及计算机图形学研究所谭建荣教授、刘振宇博士领导的讨论班上的同学和老师表示感谢.

References:

- [1] Bettini C, Wang XS, Jajodia S. Temporal reasoning in workflow systems. *Distributed and Parallel Databases*, 2002, 11(3): 269~306.
- [2] Li HF, Fan YS. Overview on managing time in workflow systems. *Journal of Software*, 2002, 13(8): 1552~1558 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13/1552.pdf>.
- [3] Zhuge H, Cheung TY, Pung HK. A timed workflow process model. *Journal of Systems and Software*, 2001, 55(3): 231~243.

