

## 基于有向超图的资源约束下企业过程结构优化\*

孙雪冬<sup>+</sup>, 徐晓飞, 王 刚

(哈尔滨工业大学 计算机学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

### Directed Hypergraph Based and Resource Constrained Enterprise Process Structure Optimization

SUN Xue-Dong<sup>+</sup>, XU Xiao-Fei, WANG Gang

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

+ Corresponding author: E-mail: sun\_xuedong@hotmail.com

Sun XD, Xu XF, Wang G. Directed hypergraph based and resource constrained enterprise process structure optimization. *Journal of Software*, 2006,17(1):59-68. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/59.htm>

**Abstract:** To improve the practicability and rationality of enterprise process structure optimization, an optimizing method based on directed hypergraph and resource constraint is presented. It models the resource-added process by a directed hypergraph. Based on the directed hypergraph theory and the process meaning added to the hypergraph, the process-structure-optimizing problem is transformed into the directed hypergraph cutting problem, and a set of formal optimizing rules of the process is given too. Then a process whose structure and supporting resource are optimized is obtained. Finally, an example is given to prove the feasibility and effectiveness of this method.

**Key words:** directed hypergraph; resource constraint; enterprise process structure optimization; cut of directed hypergraph

**摘 要:** 为了提高企业过程结构优化的实用性、合理性以及计算机支持性,提出了基于有向超图和资源约束的优化方法.根据优化需求,通过对考虑了支持资源的过程进行不同的有向超图建模,利用有向超图的性质以及超图上所附加的过程语义,把过程结构优化转化为有向超图的切割和活动合并问题,并给出具体求解过程.求得的过程为一个结构和资源都优化的过程.最后,通过举例验证该方法可行、有效.

**关键词:** 有向超图;资源约束;企业过程结构优化;有向超图切割

中图分类号: TP391 文献标识码: A

企业为了在动态多变的市场竞争环境中立于不败之地,需要不断地根据环境的变化进行自身的调整与优化.企业过程再设计(business process reengineering,简称 BPR)正是为了适应这种变化而提出的,它是实现 CIMS 全面集成的有效途径.其中,过程流本身再设计,即过程结构优化,又是 BPR 的核心内容<sup>[1]</sup>.它是企业进行 BPR 的手段,也是实施 ERP 的前提<sup>[2]</sup>.

任务绑定、活动合并是一种主要的结构优化方式<sup>[3]</sup>.一些研究者从不同角度对其进行了探讨,如文献[4,5]

\*Supported by the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA15010 (国家高技术研究发展计划(863))

Received 2005-06-21; Accepted 2005-08-15

从工作流的角度,通过绑定任务、合并活动减少任务传递时间来完成过程再设计;文献[1,6]利用图论从信息集成的角度对活动合并进行了探讨;文献[3,7]从信息流的时序、资源专业程度丧失、决策权的归属等角度对活动合并优化进行了分析.上述方法对过程结构优化起到一定的指导作用,但各自又存在其不足.在从工作流和信息集成角度进行优化的方法中,对资源因素考虑不足,并且它们主要是从时间的角度进行过程结构优化,而忽略了过程结构变化导致的成本乃至质量的变化.资源是企业过程运行的物质基础,只有以现实的资源环境为基础,进行切实可行的过程优化,企业才能在激烈的市场竞争中获得利益.同时,在竞争日益激烈的当前,企业竞争是T(time),Q(quality),C(cost)等多方面的竞争.因此,需要从多个角度进行过程优化.虽然文献[3,7]讨论了活动合并导致支持资源的专业程度降低等属性的变化,但是专业程度丧失又是一个很难衡量的量,并且它们没有讨论存在多种可支持资源、存在资源选择与划分、多个活动合并等现实中大量存在的情况.同时,由于过程本身属性关系以及所处资源环境的复杂性,在过程结构优化时,通常需要计算机的支持.因此,需要一套考虑资源约束、从多个角度进行过程结构优化的形式化的优化方法.

针对上述问题,本文提出了基于有向超图和资源约束的企业过程结构优化方法.该方法通过对加入支持资源的过程进行有向超图建模,利用超图的性质及其附加的过程语义,支持在考虑资源约束的情况下,从多个角度进行企业过程结构优化变换.

本文第1节给出基于资源约束的过程优化模型.第2节给出加入支持资源的过程有向超图模型.第3节给出资源约束下的过程结构优化的前提假设和相关定义.第4节介绍资源约束下的过程结构优化.第5节给出实例验证.最后是总结.

## 1 基于资源约束的过程优化模型

由于过程是由过程链(process chain,简称PC)及其相关因素,如资源、经济、组织、信息和决策等方面构成,有成本、时间、输出质量和客户满意度等指标.因此,过程模型优化是一个多参数、多目标的系统优化问题<sup>[2]</sup>.在上述的各种相关因素中,资源是过程运行的物质基础,支持资源改变通常会导致过程结构和某些性能的变化<sup>[8]</sup>.而过程结构变换通常需要资源支持.因此,需要在一定的资源环境下进行过程优化.对于上述各项指标,过程的完成时间、成本和输出质量在过程的性能评价中占有重要的位置;过程的一些其他指标,如服务质量、客户满意度等也可以通过这3个基本要素来体现.并且,这3个要素是相互影响的,例如,当过程的时间缩短时,可能会导致过程成本增加、输出质量降低;同时,顾客的需求也是多变的.因此,需要在不同指标约束下进行过程优化.本文主要研究在给定过程时间、成本和质量中两个量的情况下,如何通过调整支持资源和过程结构求另外一个量的最优值.

如果设 $P$ 为要优化的过程,如果用 $f$ 表示对过程进行结构优化变换, $h$ 为对不同的结构的过程进行资源分配, $g$ 为过程的资源环境约束, $OBJT$ , $OBJC$ 和 $OBJQ$ 分别为过程的目标时间、目标成本和目标质量; $UBTIME$ , $UBCOST$ 和 $UBQUA$ 分别表示过程的时间限制、成本限制和质量限制,则优化可以描述为:

求 $f$ 和 $h$ ,st. $OP=h(f(P.Str,P.SR))$

满足 $g(P.SR)\leq 0$ ;

M1,在 $OBJC\leq UBCOST,OBJQ\geq UBQUA$ 的条件下, $OBJT$ 最小;

MII,在 $OBJT\leq UBTIME,OBJQ\geq UBQUA$ 的条件下, $OBJC$ 最小;

MIII,在 $OBJT\leq UBTIME,OBJC\leq UBCOST$ 的条件下, $OBJQ$ 最大.

其中, $OP$ 为结构和支持资源都优化的过程, $P.Str$ 为过程 $P$ 的结构, $P.SR$ 为过程 $P$ 的支持资源.该模型又可分为下面两步来实现:

(1) 求 $f$ ,st. $SOPSet=f(P.Str,P.SR)$ 满足 $g(P.SR)\leq 0$ ,

其中, $SOPSet=\{SOP_i\},i=1,2,\dots,m,m$ 为可能的过程结构数. $SOP_i$ 为结构一定、可用支持资源一定的过程.该步骤即在一定的资源约束下进行过程结构优化变换;

(2) 求 $h$ ,st. $OP=h(SOPSet)$ 满足 $g_i(SOP.SR)\leq 0,i=1,\dots,m,m$ 为可能的过程结构数.

其中,  $SOP.SR$  为结构  $i$  的支持资源,  $SOP.SR \subseteq P.SR$ ,  $g_i$  为结构  $i$  的资源约束; 并且  $OP$  满足  $MI, MII$  和  $MIII$ . 该步骤即为结构一定、可用资源一定的过程时间、成本和质量优化.

对于结构一定、可用资源一定的过程时间、成本和质量优化, 一些研究者进行了讨论. 因此, 本文主要讨论在一定的资源约束下进行过程结构优化变换.

## 2 加入支持资源的过程有向超图模型

本文主要通过通过对过程进行超图建模, 利用超图的属性与过程属性之间的对应关系, 通过对超图进行变换来优化企业过程. 其中, 过程的有向超图模型是分析的基础. 为了在过程结构优化中考虑资源的约束与支持, 在过程的超图描述中加入了支持资源. 因此, 定义过程的输入、输出物料(文档)、支持资源与活动, 分别对应于超图的 3 类不同节点: 物(信息)流以及资源对活动的支持为两类不同的边. 对于一个边, 当它连接支持资源与活动时, 为资源对活动的支持边, 并由支持资源指向活动; 当它连结物料(信息)与活动时, 为物流边(信息流), 表示物料(信息)在过程中的流动, 当由物料(信息)指向活动时为输入边, 当由活动指向物料(信息)时为输出边. 作为过程模型, 活动之间的逻辑关系是过程必不可少的部分, 在这里, 用简单超边和复合超边来描述过程模型的逻辑: 对于输入/输出“And”逻辑被定义为复合超边; 否则被定义为简单超边. 如图 1 所示. 可用元组描述为

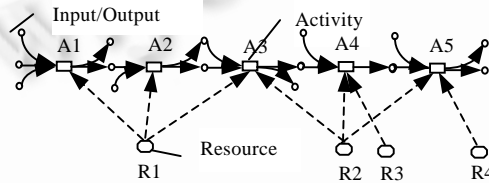


Fig.1 Hypergraph model of a process added supporting resource

图 1 考虑资源约束的过程超图模型

过程的超图模型,  $PH=(V,E)$ . 其中,  $V$  是超图的节点集合, 它又分为 3 类节点,  $V=(DV,AV,RV)$ , 其中,  $DV$  为物料节点,  $AV$  为活动节点,  $RV$  为资源节点;  $E$  为超图的边集, 它又可分为两类,  $E=(DE,RE)$ ,  $DE$  为物流边,  $RE$  为资源对活动的支持边. 对于  $\forall av_i \in AV_i, \forall av_j \in AV_j$ , 如果  $\exists de_m \in DE, \forall de_n \in DE$ , 有  $T(de_m)=av_i, H(de_n)=av_j$ , 且有  $H(de_m)=T(de_n)$ , 称  $av_i$  和  $av_j$  相邻, 记作:  $\wedge(av_i, av_j)$ ; 对于  $\forall av_i \in AV$ , 如果  $\exists re_m \in RE$ , 有  $H(re_m)=av_i, T(re_m)=rv_j, rv_j \in RV$ , 则称  $rv_j$  是  $av_i$  的支持资源,  $av_i$  的所有支持资源记作:  $av_i.srset$ ; 对于  $\forall rv_i \in RV$ , 如果  $\exists re_m \in RE$ , 有  $H(re_m)=av_j, T(re_m)=rv_i, av_j \in AV$ , 则称  $av_j$  是  $rv_i$  所支持的活动,  $rv_i$  所支持的所有活动记作:  $rv_i.saset$ ; 对于  $\forall av_i \in AV$ , 如果  $\exists de_m \in DE$ , 有  $H(de_m)=av_i, T(de_m)=dv_j, dv_j \in DV$ , 则称  $dv_j$  为  $av_i$  的输入,  $av_i$  的所有输入记作:  $av_i.inset$ ; 如果  $\exists de_m \in DE$ , 有  $T(de_m)=av_i, H(de_m)=dv_j, dv_j \in DV$ , 则称  $dv_j$  为  $av_i$  的输出,  $av_i$  的所有输出记作:

$$av_i.outset \tag{1}$$

根据分析问题的需要, 对由(1)定义的过程超图模型的资源支持边进行了不同处理, 生成两类不同用处的过程超图模型:

活动可合并判断超图. 对于由(1)定义的超图, 如果存在两个资源支持边  $re_i$  和  $re_j$ , 且  $T(re_i)=T(re_j)$ , 则可将  $T(re_i)$  和  $T(re_j)$  合成为一个节点作为超边的起点, 把  $H(re_i)$  和  $H(re_j)$  作为超边的终点, 形成一个新的超边, 其余的节点与边与(1)中定义相同, 获得一个新的超图, 由于该超图主要用作活动的可合并判断, 所以定义该超图模型为活动可合并判断超图 ACH(activity consolidating hypergraph, 简称 ACH). 如图 2 所示, 它为图 1 所描述过程的 ACH.

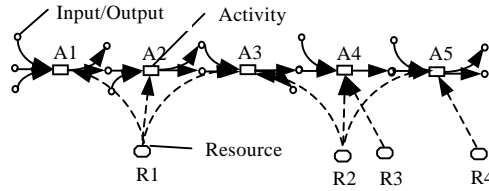


Fig.2 ACH of a process

图2 活动可合并判断超图

资源划分判断超图.对于由(1)定义的超图,如果存在两个资源支持边  $re_i$  和  $re_j$ ,且  $H(re_i)=H(re_j)$ ,则可把  $H(re_i)$  和  $H(re_j)$  合成为一个节点作为超边的终点,把  $T(re_i)$  和  $T(re_j)$  作为超边的起点,形成一个新的超边,其余的节点和边与(1)中的定义相同,获得一个新的超图,由于该超图主要用作活动的资源可划分判断,所以定义该超图模型为资源划分判断超图 RCH(resource cutting hypergraph,简称 RCH).如图3所示,它是图1所描述过程的 RCH.

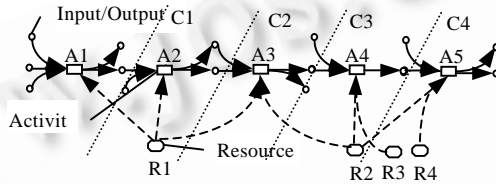


Fig.3 RCH of a process

图3 资源划分判断超图

### 3 基本假设与相关定义

由于过程本身的复杂性,本文在利用超图模型进行过程结构优化之前作了如下假设:

- (1) 活动为最小粒度层,活动不能再分,只能合并;
- (2) 已经生成过程所有可用的支持资源.

定义评价支持资源和过程结构变换是否可行的基准为:如果变换后每个活动都有支持资源,则过程可行;否则不可行.

为了准确地进行资源约束下的过程结构优化,有必要对各种对象进行无歧义表述.为此,下面我们对优化中将要用到的对象进行准确定义.

在过程结构优化中,不同类型的资源处理方式不同.这里,根据资源在过程中所起作用的不同,把资源分为相对于过程的可选资源和必需资源.

**定义 1.** 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于一个资源  $rv_i \in RV, reset = \{re_j | T(re_j) = rv_i\}$ ,如果对于  $\forall re_k \in reset$ ,有其头节点的入度  $d(H(re_k)) \geq 2$ ,则  $rv_i$  为过程  $P$  的可选资源,过程  $P$  的所有可选资源记作  $P.OR$ ;如果  $\exists re_k \in reset$ ,有其头节点的入度  $d(H(re_k)) < 2$ ,则  $rv_i$  为过程  $P$  的必需资源,过程  $P$  的所有必需资源记作  $P.RR$ .

本文主要通过对一定资源环境下的一些可合并活动进行合并来优化过程,由于过程可能有多种资源支持方式、活动有多种合并方式,因此,就存在活动资源相关性判断、活动可合并判断以及资源划分问题.

**定义 2.** 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于  $avset \subset AV$ ,对于  $\forall a_i, a_j, a_i \in avset, a_j \in avset$ ,如果  $\wedge (av_i, av_j)$ ,且  $av_i.srset \cap av_j.srset \neq \emptyset$ ,如果  $resset = Y(av_i.srset \cap av_j.srset)$ ,则  $avset$  为资源相关活动,记作  $Rel(resset, avset)$ .这组活动构成过程  $P$  的一个独立处理单元,过程  $P$  的所有独立处理单元记作  $P.SelfUnitSet$ .

**定义 3.** 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于  $av_i \in AV$  和  $av_j \in AV$ ,且  $\wedge (av_i, av_j)$ ,如果  $\exists rv_k \in RV, re_m \in RE, re_n \in RE, rv_k = T(re_m) = T(re_n)$ ,且  $H(re_m) = av_i, H(re_n) = av_j$ ,则  $av_i$  和  $av_j$  可合并,记作  $U(av_i, av_j)$ .

**定义 4.** 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于  $av_i \in AV$  和  $av_j \in AV$ ,且  $U(av_i, av_j)$ ,通过连接两个相邻活动的边,以及这两个活动任意一个公共支持资源  $rv_k$  边,做过程超图模型的割线,这个过程称为资源划分.如果切割

后  $rv_k$  与  $av_i$  同侧,则记作: $C(av_i,av_j,rv_k^+)$ ;否则记作: $C(av_i,av_j,rv_k^-)$ .在资源划分中,如果存在一种切割,且在该切割后两个活动都有支持资源,则称这两个活动为可切割活动,并记作  $CC(av_i,av_j)$ .

定义 5. 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型 PH 中,对于一个独立处理单元  $SU_k \in P.SelfUnitSet$ ,对于  $av_i \in AV$ ,并且  $av_i \in SU_k$ ,如果  $\exists rv_m \in av_i.srset, rv_n \in av_i.srset$ ,且  $rv_m \neq rv_n$ ,如果  $rv_m.saset \neq rv_n.saset$ ,则  $av_i$  为必切割活动,该单元的所有的必切割活动记作  $SU_k.rcaset$ .

定义 6. 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型 PH 中,过任意两个具有公共支持资源的相邻活动  $av_i$  和  $av_j$  以及任意公共支持资源进行资源划分,假设任何资源划分都是可切割的,所有可能的不同切割数定义为最大切割数,记作  $maxcn(av_i,av_j)$ .

定义 7. 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型 PH 中,对于一组资源相关活动  $avset$ ,对其可合并活动进行合并,在所有可能的合并中,合并后所得的活动数量最少时的活动数定义为最小合并数,记作  $mincn(avset)$ .

## 4 资源约束下的过程结构优化

### 4.1 结构优化变换

本文主要是根据过程的支持资源状况,通过对过程进行资源划分和活动合并来优化过程,下面的定理支持正确地进行过程结构变换.

定理 1. 对于过程  $P$ ,在其对应的用于活动可合并判断超图 ACH 中,如果  $\exists av_i \in AV, \exists av_j \in AV, \wedge (av_i,av_j)$ ,且  $\exists re_k \in RE, av_i \in H(re_k), av_j \in H(re_k)$ ,则  $av_i$  和  $av_j$  可合并.

证明:由活动可合并判断超图的生成可知,超边  $re_k$  只有一个开始节点,并且为  $av_i$  和  $av_j$  的公共支持资源,由可合并活动定义可知, $av_i$  和  $av_j$  可合并.

例如,在图 2 描述的过程中,因为  $A1, A2, A3$  为同一超边的头节点,所以  $A1, A2, A3$  可合并;同理可知, $A3, A4, A5$  可合并.

定理 2. 对于过程  $P$ ,在其对应的资源划分判断超图 RCH 中,对于  $\forall av_i \in AV, \forall av_j \in AV$ ,且  $U(av_i,av_j)$ ,过连接  $av_i$  和  $av_j$  的边作过程的一条割线,其对应的割集为  $CSet(av_i,av_j)$ ,如果  $|CSet(av_i,av_j)|=1$ ,且  $CSet(av_i,av_j) \subset DE$ ,则这两个活动可切割.

证明:由资源划分定义可知,在切割过程中,除了对活动边进行切割以外,对资源边也进行了切割.如果割集中只有一个物流边,即资源的切割不属于割集,由割集的定义可知:对于被切割的资源支持边,一定存在一个资源与另外一个资源不在割线的同一侧,它与活动同侧,即切割后,活动仍具有可支持资源.由可切割活动定义可知其为可切割.

例如,在图 3 描述的过程中,因为过  $A2, A3$  作割线  $C2$ ,割集中只有一条边,所以  $A2, A3$  可切割;同理, $A3, A4$  可切割,割线为  $C3$ ;  $A4, A5$  可切割,割线为  $C4$ .

定理 3. 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型 PH 中,对于  $\forall SU_i \in P.SelfUnitSet, \forall av_i \in AV, av_i \in SU_i.rcaset$ ,如果  $av_b$  为其前序相邻节点, $av_f$  为其后序相邻节点,则  $av_b$  和  $av_k$  可切割, $av_k$  和  $av_f$  可切割.

证明:由必切割活动定义可知, $av_i$  至少存在一个与  $av_b$  公共的支持资源和一个与  $av_f$  公共的支持资源,现假设分别为  $rv_m$  和  $rv_n$ .当对连接  $av_b$  和  $av_i$  的边进行  $C(av_b,av_i,rv_m^+)$  切割时,除  $av_i$  以外的活动支持资源不变,而  $av_i$  仍有支持资源  $rv_n$ ,即切割后每个活动都有支持资源,所以可切割.同理可证, $av_i$  与其后序节点  $av_f$  同样可切割.

定理 4. 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型 PH 中,对于  $\forall av_i, av_j$ ,且  $\wedge (av_i,av_j)$ ,当  $|av_i.srset \cap av_j.srset|=n$  时, $maxcn(av_i,av_j)=2^n-(n-1)$ .

证明:当资源数  $rm=1$  时,可对支持资源的两侧进行划分,则划分的形式有两种,即切割数  $cn=2$ .由于  $2=2^1-(1-1)$ ,即  $rm=1$  时成立;假设  $rm=m$  时成立,即此时的切割方式为  $2^m-(m-1)$ ;当  $rm=m+1$  时,即在  $m$  支持资源之外又增加了一个支持资源,则此时又增加了两种资源切割方式,但其中的一种资源切割方式与前面的重复,故此时的资源支持方式为  $2^m-(m-1)+1=2^{(m+1)}-m$ ,即  $rm=m+1$  时成立.因此,相邻活动的最大切割数为  $2^n-(n-1)$ .

定理 5. 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型 PH 中,对于一组活动  $avset$ ,如果  $Rel(ressset,avset)$ ,则

$\text{mincn}(avset)=\min|resset|$ .

证明:假设  $\text{mincn}(avset)>\min|resset|$ ,当进行资源划分时,根据过程结构变化的基本准则可知:无论如何划分,都需要最小覆盖资源以外的资源来支持.但由于最小覆盖数本身表示该集中的资源存在一种划分方式,能够支持该过程运行性,二者相矛盾.因此,可以推得最小合并数不大于最小覆盖数;

假设  $\text{mincn}(avset)<\min|resset|$ ,由过程结构变化的基本准则——每个活动都有支持资源可知:存在这样的活动,其支持资源为最小覆盖中的两个资源,即最小覆盖中存在这样的资源,它们所支持的活动相同.这与活动的最小覆盖资源相矛盾.同时,也与资源相关活动的定义相矛盾.所以,最小合并数不小于最小覆盖数.

因此,可以得出最小合并数为覆盖所有相关活动的资源数量的最小值.

#### 4.2 结构优化变换处理规则

对于资源相关的活动,当对一些活动进行资源划分时,会影响另外一些活动的可切割性,即可切割性是可变的.因此,在资源划分与活动合并过程中,需要遵循一定的处理规则.

规则 1(切割处理). 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于  $\forall av_i \in AV, \forall av_j \in AV$ ,如果  $\wedge(av_i, av_j)$ ,且  $CC(av_i, av_j)$ ,当进行  $(av_i, av_j, rv_m^-)$ 切割时,则  $av_i.srset=av_i.srset-rv_m, av_j.srset$  不变,  $rv_m.saset=av_m.saset-av_i$ ;当进行  $(av_i, av_j, rv_m^+)$ 切割时,则  $av_j.srset=av_j.srset-rv_m, av_i.srset$  不变,  $rv_m.saset=av_m.saset-av_j$ .

规则 2(合并处理). 对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于  $\forall av_i \in AV, \forall av_j \in AV$ ,如果  $U(av_i, av_j)$ ,当对其进行合并时,如果合并后的活动为  $av_u$ ,则  $av_u.inset=av_i.inset \cup av_j.inset - av_i.outset \cap av_j.inset; av_u.outset=av_i.outset \cup av_j.outset - av_i.outset \cap av_j.inset; av_u.srset=av_i.srset \cap av_j.srset$ .

#### 4.3 不同结构过程的创建及过程优选

对一定资源环境下的可合并活动进行合并,是进行过程结构优化的主要手段,由于过程具有多种资源支持模式和多种结构变化方式,使得结构优化复杂化.在这里,采用分段处理的手段来简化过程优化.首先,判断独立处理单元;接下来,对独立处理单元进行资源划分与活动合并.

对于一个过程  $P$ ,在其超图模型  $PH$  中,对于  $\forall av_i \in AV$ ,包含  $av_i$  的独立处理单元判断算法可以描述为:

算法 1(独立处理单元判断).

Step 1. 设当前节点为  $av_i$ ;

Step 2. 利用活动之间的拓扑关系,求其前序节点  $av_b$  及后序节点  $av_f$ ,根据定义 2,判断  $av_b$  和  $av_f$  是否属于独立处理单元;

Step 3. 根据定义 4 判断当前节点是否属于必切割活动;

Step 4. 判断  $av_b$  和  $av_f$  是否属于独立处理单元:如果是,则分别把  $av_b$  和  $av_f$  设置为当前节点,转到 Step 2;否则生成一个包含  $av_i$  的独立处理单元,算法结束.

算法 2(独立处理单元的资源划分与活动合并).

Step 1. 对于上述判断求得的必切割活动,根据定理 4 进行所有可能的切割.根据规则 1 进行切割处理,并再次进行必切割活动判断:如果存在必切割活动,重复该步;否则进行下一步;

Step 2. 对于不存在必切割资源的相关活动,根据定理 1 进行可合并活动判断,根据求解的目标不同——最小合并数和所有可能的合并数,进行不同的活动合并,并根据规则 2 进行合并处理.这样,即求得独立处理单元中所需的过程结构,算法结束.

利用上述两种算法进行考虑资源约束的过程优化的过程可以描述为:

Step 1. 根据资源的可用状态,利用算法 1 求得所有可能的独立处理单元;

Step 2. 根据优化的方式——最小活动合并数或者所有可能的不同结构数,利用算法 2 求得每个单元中包含的不同结构;

Step 3. 取每个独立处理单元中的一种结构以及独立单元外公共的活动构成一种过程方案,以这种方式求得一个过程的所有可能的不同结构方案;

Step 4. 对于不同结构、不同资源状况下的过程,利用文献[10]中的方法进行 T,Q,C 分析.根据不同的优化目标,从中选出资源和结构都相对优化的过程,由于篇幅有限,这里不再详述.经上述处理所得过程即为优化过程.

### 5 实例验证

根据上述优化原理,在集成化企业建模基础上,利用 VC++和 SQL server 数据库开发了考虑资源约束的过程 T,Q,C 优化系统.下面,利用该系统,对一个实例进行分析,证明本文方法是有效的.

#### 5.1 问题描述

该实例是文献[11]中时间、成本和质量折衷优化实例的一个扩展.该过程的结构如图 4 所示,共包括 14 个一般活动、2 个哑元活动.活动参数见表 1,其中,  $N$  为活动取正常时间时,  $C$  为活动取压缩时间时.

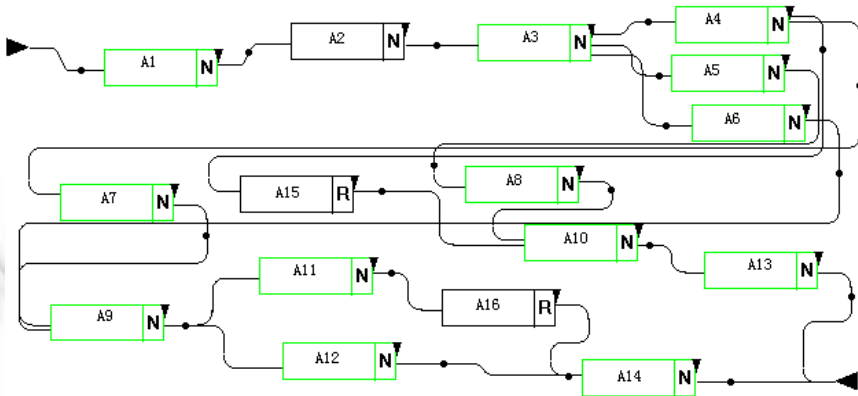


Fig.4 Process to be optimized

图 4 要优化的过程

Table 1 Parameters of the activities under different supporting resource

表 1 不同支持资源下的活动参数

Act	SupRes	Act cost		Act cost		Act cost		SupRes quantity		SupRes quality	
		N	C	N	C	N	C	N	C	N	C
A1	TR1	2	1	1 800	2 300	1	0.90	5	9	1	0.79
	S1R1	2	1	1 800	2 300	0.95	0.90	4	9	1	0.79
	S2R1	2	1	2 500	3 000	1	0.95	3	5	1	0.80
	S3R1	2	1	2 500	3 000	1	0.95	3	5	1	0.80
A2	TR2	4	2	3 200	3 600	1	0.70	2	3	1	0.80
	S1R2	4	3	3 200	3 350	0.9	0.70	2	5	1	0.80
	S2R1	3	2	3 300	3 600	1	0.90	3	5	1	0.80
	S2R3	4	3	3 300	3 600	1	0.90	2	3	1	0.80
	S3R1	3	2	3 300	3 600	1	0.90	3	5	1	0.80
A3	TR3	10	7	6 200	7 300	1	0.80	3	4	1	0.80
	S1R3	10	8	6 200	6 600	1	0.80	3	5	1	0.80
	S2R3	8	7	6 600	7 300	1	0.80	2	3	1	0.80
	S3R1	8	7	6 600	7 300	1	0.80	2	3	1	0.80
A5	TR5	6	4	2 600	3 000	1	0.70	3	5	1	0.80
A6	TR6	7	5	2 100	2 400	1	0.70	2	3	1	0.90
A7	TR7	5	3	1 800	2 200	1	0.30	3	5	1	0.70
A8	TR8	7	4	9 000	9 600	1	0.75	5	9	1	0.75
A9	TR9	8	6	4 300	4 600	1	0.40	4	5	1	0.84
A10	TR10	9	6	2 000	2 500	1	0.50	2	3	1	0.95
A11	TR11	4	3	1 600	1 800	1	0.90	2	3	1	0.80
A12	TR12	5	3	2 500	3 000	1	0.95	4	5	1	0.95
A13	TR13	2	1	1 000	1 500	1	0.90	3	6	1	0.90
A14	TR14	6	3	3 300	4 000	1	0.95	4	7	1	0.95

5.2 求解过程及结果

求解过程:根据第 4.3 节给出的考虑资源约束的过程优化过程,针对不同资源状态下的过程,根据不同的优化目标进行过程优化求解.

情况 1.当活动  $A_i$  的支持资源为  $TR_i$  可用,而其他资源不可用时,无论过程的时间、成本和质量在有效范围内如何变换,进行过程优化过程的结构不变,如图 4 所示.此时,过程正常时间时的时间、成本、质量分别为 44,45500,1;时间压缩时的时间、成本、质量分别为 28,52700,0.73.

情况 2.当活动  $A_1, A_2, A_3$  的支持资源为  $S1R1, S1R2, S1R3, S2R1, S2R3$  可用,其他资源不可用;其他活动的支持资源为  $TR_i$  可用时,根据本文的结构变换规则,以最小合并数进行结构变换,可能的过程结构如图 5 所示.合并活动  $UA_1$  的支持资源为  $SR_1$ ,设其正常时间时的时间、成本、质量分别为 8,2500,1;时间压缩时的时间、成本、质量分别为 6,3000,0.7;合并活动  $UA_2$  的支持资源为  $SR_3$ ,设其正常时间时的时间、成本、质量分别为 11,11000,1;时间压缩时的时间、成本、质量分别为 8,12000,0.8.此时,过程时间最长时的时间、成本、质量分别为 46,44000,1;过程时间压缩时的时间、成本、质量分别为 26,54500,0.73.

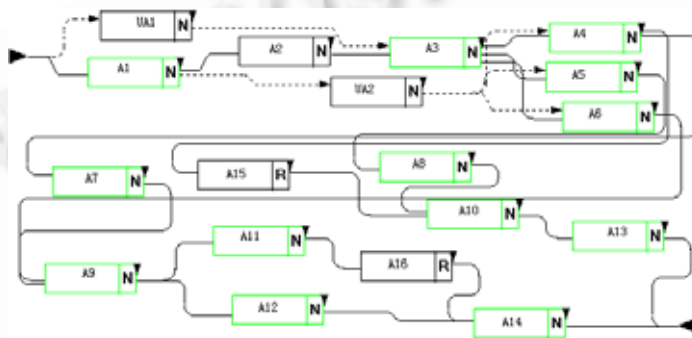


Fig.5 Process model after change of structure

图 5 结构变化后的过程模型

对该资源状态下不同的结构过程进行已知时间和质量求解优化成本的计算,求得的最优成本和相应的结构见表 2.其中, $S_0$  为原过程结构, $S_1$  为取活动  $UA_1$  时对应的过程结构, $S_2$  为取活动  $UA_2$  时对应的过程结构.

Table 2 Optimal process cost when time and OAVQ are bounded

表 2 给定时间和质量优化过程成本

Upper bound on process cost	Lower bound on project quality (OAVQ)											
	0.73		0.8		0.85		0.9		0.95		0.98	
	Cost	Str	Cost	Str	Cost	Str	Cost	Str	Cost	Str	Cost	Str
28	55 564.5	UA 0	55 458.2	UA 0	56 274.1	UA 0	56 929.4	UA 0	57 335	UA 0	58 348.8	UA 2
32	47 861.6	UA 2	45 939.8	UA 2	47 861.6	UA 2	49 311.3	UA 2	55 277.1	UA 2	55 453.3	UA 0
36	42 341.2	UA 1	42 715.2	UA 1	42 991	UA 1	44 981.5	UA 1	49 187.9	UA 0	52 384.7	UA 2
44	39 675.7	UA 1	39 393.1	UA 1	40 585.2	UA 1	42 700.7	UA 1	46 290.3	UA 1	50 564.8	UA 1

同理,对其他资源状态下的过程进行结构变换,获得不同结构的过程.对于不同结构,利用活动与资源关系,根据不同优化目标,选择优化的结构.

5.3 结果分析

上面的结果表明:

(1) 过程结构优化与资源环境密切相关,需要资源的支持,并受其约束.例如,如果仅从信息流角度,以减少任务传递时间为优化目标,则最佳的优化方案为合并  $A_1, A_2, A_3$ .但是,如果此时支持资源可用状况如情况 1 所示,则此时无法进行活动合并.因此,过程结构优化应以现实资源环境为依据.



(2) 优化结构的获得与优化目标也有重要关系,不同的优化目标下获得不同的结构.例如,对于情况 2,如果只从最短完成时间来考虑,那么优化的结构应选  $S_1$ .但当给定时间和质量求最小成本时,针对不同的约束,分别选择  $S_0, S_1, S_2$  这 3 种情况.由于现实中对过程性能需求具有多样性,因此,从多方面考虑进行过程优化更具有实际意义.

(3) 由于过程属性关系的复杂性、对过程性能需求的多样性,无法利用直观分析方法求得所有优化的结构状态,需要计算机的支持.例如,在情况 2 中,当时间约束为 28,32,36 时,由本文方法计算得出,在优化时分别选择  $S_0, S_1, S_2$ .而这种情况无法直观判断.上面实例再次证明本文方法的必要性、合理性和实用性.

## 6 结 论

本文针对一定资源环境下的过程结构优化,给出了基于有向超图的解决方法,该方法具有下列特点:

(1) 在进行过程结构优化时,充分考虑了资源环境对优化的支持与约束,克服了原有过程结构优化与资源环境相脱离所造成的片面性,更具有实际意义;

(2) 从多目标的角度进行过程结构优化,克服了原有过程结构优化单纯地从时间角度进行优化的不足,使得优化更合理;

(3) 在进行过程描述时,采用了有向超图的方法,既增加了过程描述的形式化,从而支持过程结构优化的自动化,又因在优化时可遵循超图的某些优化原理,使得优化求解得以简化;

(4) 本文方法还可以用作根据过程的优化目标,去分析优化后的过程对资源的需求.

致谢 作者衷心感谢审稿人和编辑老师对本文提出的修改意见.

## References:

- [1] Huang LH, Qian N, Ge YL, Hu J. The optimization rules and methods of business process. High Technology Letters, 1997,7(11):26-32 (in Chinese with English abstract).
- [2] Tan WA, Zhou BS, Li MS, Wang Q. Research on simulation-based auto-optimized technique in enterprise process model. Journal of Software, 2002,13(4):706-712 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13/706.htm>
- [3] Dewan R, Seidmann A, Walter ZP. Workflow optimization through task redesign in business information processes. Collaboration Systems and Technology Track, 1998,1(1):240-252.
- [4] Brickley JA, Jr Smith CW, Zimmerman JL. Managerial Economics and Organizational Architecture. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [5] Aldowaisan TA, Gaafar LK. Business process reengineering: an approach for process mapping. The Int'l Journal of Management Science, 1999,27(5):515-524.
- [6] Xu G. The research of model-based enterprise process optimization methods [Ph.D. Thesis]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2002 (in Chinese with English abstract).
- [7] Seidmann A, Sundararajan A. The effects of task and information asymmetry on business process redesign. Int'l Journal of Production Economics, 1997,50:117-128.
- [8] Ouyang LY, Chen CK, Chang HC. Quality improvement, setup cost and lead-time reductions in lot size reorder point models with an imperfect production process. Computers & Operations Research, 2002,29(12):1701-1717.
- [9] Mousavi A, Adl P, Rakowski RT, Gunasekaran A. Design of a production planning system using customer oriented design and resource utilisation (CODARU). Int'l Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001,17(11):805-809.
- [10] Sun XD, Xu XF, Wang G. Resource-Based trade-off model for multi-objective of process. Computer Integrated Manufacturing System, 2004,10(6):667-671 (in Chinese with English abstract).
- [11] Babu AJG, Suresh N. Project management with time, cost and quality considerations. European Journal of Operational Research, 1996,88(2):320-327.

## 附中文参考文献:

- [1] 黄丽华,钱宁,葛永利,胡健.企业过程优化的规则和方法.高技术通讯,1997,7(11):26-32.
- [2] 谭文安,周伯生,王强,李明树.基于模拟的企业过程模型自动优化技术研究.软件学报,2002,13(4):706-712. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/13/706.htm>
- [6] 徐罡.基于模型的企业过程优化方法的研究[博士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2002.
- [10] 孙雪冬,徐晓飞,王刚.基于资源的过程多目标折衷优化.计算机集成制造系统,2004,10(6):667-671.



孙雪冬(1972 - ),女,黑龙江阿城人,博士生,主要研究领域为分布式信息处理,CIMS,企业建模,企业过程优化.



王刚(1964 - ),男,教授,主要研究领域为现代集成制造,敏捷制造,企业集成平台,企业建模与仿真,电子商务.



徐晓飞(1962 - ),男,博士,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究领域为企业智能计算,管理与决策信息系统,数据库,企业资源计划与供应链管理技术,电子商务与商务智能,知识工程及应用.

第 2 届中国可信计算与信息安全学术会议  
CTCIS 2006  
征 文 通 知

由中国计算机学会容错计算专业委员会主办,河北大学承办的第 2 届 CTCIS 2006 拟定于 2006 年 10 月在河北大学举行。

一、征文范围(不限于):

1. 可信计算体系结构:可信计算理论,可信计算机体系结构,可信计算软件体系结构,可信网络,容错计算;
2. 可信软件:高可信软件,操作系统安全,数据库安全,软件容错,软件测试;
3. 可信硬件:可信计算平台,可信计算平台模块,信息安全芯片,智能卡,硬件容错,硬件测试,电子设备的物理安全;
4. 网络与通信安全:可信网络,网络攻防,网络安全管理,网络安全免疫,网络容侵,通信安全,无线通信网络安全,计算机病毒技术;
5. 密码学:密码学的理论与技术,新型密码,密码技术应用;
6. 信息隐藏:信息隐藏,数字水印,数字版权管理;
7. 信息安全应用:电子政务安全,电子商务安全,信息安全管理。

二、征文要求详见会议网页: <http://int.hbu.edu.cn>

三、重要日期:

征文截止日期:2006 年 4 月 30 日

录用通知:2006 年 5 月 31 日

返回修改稿:2006 年 6 月 30 日

四、联系方式:

地 址:河北大学数学与计算机学院,071002

联系人:田俊峰 杜瑞忠

电话:0312-5079348,0312-2286008