

# 基于流程图及过程代数的流程表达方法

黄海新, 汪定伟

(东北大学信息学院, 沈阳 110006)

**摘要:** 提出一种新的用于BPR的业务流程表达方法。首先用基于活动属性的流程图来描述业务流程; 再利用图论的矩阵分析方法描述流程图; 然后结合过程代数的方法, 由流程图的矩阵推导出一个能全面反映流程情况的代数表达式——过程代数式; 最后通过对过程代数式的分析, 提出流程的评价指标

**关键词:** 企业流程重组; 基于活动属性的流程图; 过程代数; 流程建模; 流程评价

**中图分类号:** F273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-9807(2002)03-0067-06

## 0 引言

业务流程重组 (business process reengineering, BPR) 是对企业的业务流程进行根本性地再思考和彻底性地再设计, 从而获得成本、质量、服务和速度等方面业绩的戏剧性的改善<sup>[1,2]</sup>。

虽然BPR在实施上取得了很大的成功, 人们在此基础上也总结并拓展了一些原则<sup>[3-5]</sup>, 但BPR作为一种理论, 在技术上如何实现仍有很大困难, 用什么样的模型表达流程、用什么样的指标评价流程等问题是其难点和关键。对于BPR方法, 文[6]曾提出基于活动—组织流程图的BPR方法, 该方法在用数学模型描述和分析流程上迈出了很大的一步, 但对于流程活动的许多属性方面只考虑到组织是不够的, 还有待进一步完善。在对流程的描述方面, 工作流管理的研究人员提出了过程代数的表示方法<sup>[7]</sup>, 该方法注重活动之间的逻辑关系, 主要用于流程的调度与控制。本文改进了基于活动—组织流程图的表达方法, 并结合过程代数的方法, 提出基于活动属性的流程图表示方法。该方法可以对业务流程进行深入、全面的评价。

## 1 用基于活动属性的流程图描述流程

流程是由一系列活动及其之间的衔接关系组成的。基于活动属性的流程图表示方法是用一个有向图表示流程各活动及其属性的衔接关系<sup>[6,8]</sup>, 并用有向箭头上的数字 $m$  (默认值为1) 表示上一个活动执行完后进入下一个活动的概率。活动含有多个属性, 针对BPR的主要属性是活动的执行组织和执行时间, 为了便于直观分析流程, 用如图1的方式来表示一个活动, 其中组织和时间均为对应活动的属性。

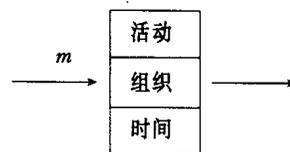


图1 基于活动属性的流程图表示方法

**例1** 简化的采购合同签订过程用基于活动属性的流程图表示如图2所示

可以观察到, 例1流程有一个活动环, 在活动4结束后, 有0.7的概率执行活动6, 有0.3的概率

执行活动 5、并进行循环,而流程的活动路径在此的情况有:不循环、循环 1 次、循环 2 次、循环 3 次……,概率依次递减,且总体上,循环  $i$  次的概率 =  $0.3^i$ ,因此,为了分析方便,本文只考虑循环 1 次的情况

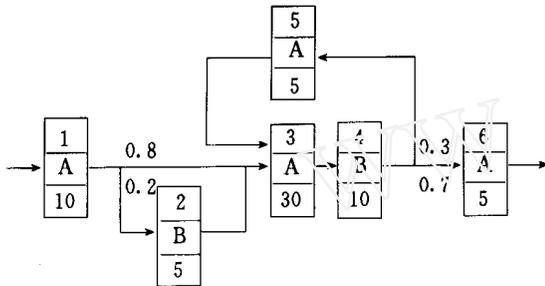


图 2 简化的采购合同签订过程的描述

- 1: 采购计划 2: 计划审批 3: 看货洽价
- 4: 价格审批 5: 更改方案 6: 签订合同
- A: 采购员; B: 经管人员
- 最下格数字代表活动的执行时间(单位为小时).

## 2 用矩阵描述流程

分析有向图可用矩阵方法<sup>[9,10]</sup>,结合流程的特点,用矩阵描述、分析流程的方法如下:

$$A = [a_{ij}]_{n \times n}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{活动 } j \text{ 为活动 } i \text{ 后的衔接活动} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

其中,矩阵 A 表示邻接矩阵  $n$  为图中的节点数,即活动的个数.那么,邻接矩阵 A 中的全零列对应的活动为起始活动,全零行对应的活动为终止活动

矩阵 M 表示带权重(概率)的邻接矩阵:用  $m_{ij}$  表示执行完活动  $i$  后,接着执行活动  $j$  的概率,矩阵 A 与矩阵 M 的关系为

$$m_{ij} = a_{ij}, \quad m_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

矩阵 R 表示可达矩阵  $R = (I + A)^{n-1}$ ,其中 I 为单位矩阵,  $r_{ij} = 1$  表示节点  $i$  经过若干节点可以到达节点  $j$ .可达集  $R_i = \{j \mid r_{ij} = 1\}$ .

矩阵 Q 表示回路矩阵  $Q = R - R^T$ <sup>[11,12]</sup>.若存在最大节点集 D (包含多于 1 个节点),使得所有  $q_{ij} = 1 (i \in D \text{ 且 } j \in D)$ ,则节点集内的节点构成一个活动环.设某活动环的节点集为 D,若存在  $a_{ij} = 1 (i \in D \text{ 且 } j \notin D)$ ,则节点  $i$  为环分支节点

例 1 用矩阵表示为

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

则活动 1 为起始活动,活动 6 为终结活动.各节点的可达集分别为  $R_1 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ,  $R_2 = \{2, 3, 4, 5, 6\}$ ,  $R_3 = \{3, 4, 5, 6\}$ ,  $R_4 = \{3, 4, 5, 6\}$ ,  $R_5 = \{3, 4, 5, 6\}$ ,  $R_6 = \{6\}$ .活动 3、4、5 形成一个活动环,环分支节点为节点 4

## 3 用过程代数描述流程

用矩阵描述流程的方法存在着一定的局限性:二维模型不适于处理节点数较多的问题;节点的逻辑关系不明确;考虑不到活动的属性;难以提出全面的评价方法.以下将提出用过程代数的方法描述流程,它能够很好地解决上述问题

### 3.1 过程代数简介

过程代数是表示逻辑关系的特殊运算符.将一系列活动按一定规则连接起来,形成的一个反映流程进行情况的代数式.根据文[6]的思想,提

出如下过程代数的运算表示:

⊕ 运算表示串联关系, 如图 3 流程用过程代数表示应为  $h_i \oplus h_j$ , 即执行完活动  $i$  后必执行活动  $j$ .

⊗ 运算表示并联关系, 如图 4 流程用过程代数表示应为  $m_{ik}h_k \otimes m_{ij}h_j$ , 即执行完活动  $i$  后, 只能执行活动  $k$  与活动  $j$  中的一个, 也必执行一个, 执行活动  $k$  的概率为  $m_{ik}$ , 执行活动  $j$  的概率为  $m_{ij}$ .



图 3 活动串联关系

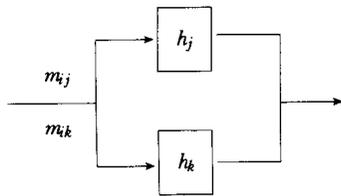


图 4 活动并联关系

定义  $V$  为虚拟活动, 它什么也不执行, 在实际流程中无意义, 只是便于代数表示和运算

定义元过程: 由一组活动及其衔接关系构成, 元过程内起始活动和终结活动均只有一个. 单个活动也是一个元过程. 在过程代数中, 若增加一组 ( ) 不改变流程, 则 ( ) 内的活动组是一个元过程

过程代数运算中, 优先级由高到低为:

( ) ⊗ ⊕, 同级的按从左往右顺序运算

例 1 用过程代数表示为

$G = \blacktriangleleft h_1 \oplus 0.8V \otimes 0.2h_2 \oplus h_3 \oplus h_4 \oplus 0.7V \otimes 0.3CR(h_5 \oplus h_3 \oplus h_4) \oplus h_6$ , 如何从相关矩阵推导出过程代数将在后面讨论

### 3.2 过程代数的基本性质

下述  $h_1, h_2, h_3$  等表示活动 (包括虚拟活动), 也可视为元过程

1) 交换律

$$m_{i1}h_1 \otimes m_{i2}h_2 = m_{i2}h_2 \otimes m_{i1}h_1$$

2) 结合律

$$(h_1 \oplus h_2) \oplus h_3 = h_1 \oplus (h_2 \oplus h_3)$$

$$m_{i1}h_1 \otimes m_{i2}h_2 \otimes m_{i3}h_3 =$$

$$m_{i1}h_1 \otimes m_{i2}''(m_{i2}'h_2 \otimes m_{i3}'h_3)$$

其中  $m_{i2}'' = m_{i2} + m_{i3}, m_{i2}' = m_{i2}/m_{i2}''$ ,  $m_{i3}' = m_{i3}/m_{i2}''$ , 其实质是分支点后移同时汇合点

前移

3) 分配律

$h_1 \oplus m_{i2}h_2 \otimes m_{i3}h_3 = m_{i2}(h_1 \oplus h_2) \otimes m_{i3}(h_1 \oplus h_3)$ , 其实质为分支点前移, 其反运算为分支点后移

$m_{i2}h_2 \otimes m_{i3}h_3 \oplus h_4 = m_{i2}(h_2 \oplus h_4) \otimes m_{i3}(h_3 \oplus h_4)$ , 其实质为汇合点后移, 其反运算为汇合点前移

4) 虚拟活动性质

$$h_1 \oplus V = V \oplus h_1 = h_1$$

### 3.3 用过程代数表示流程的方法

步骤 1 将起始节点标识为着色点, 并在起始节点前加  $\blacktriangleleft$  标识

步骤 2 从任意一个着色点开始推导, 首先将其标识去掉, 再按一定规则推导, 产生新的着色点 (可能不止一个, 也可能一个也没有).

步骤 3 当推导到终结节点时, 在终结节点后加  $\blacktriangleright$  标识

步骤 4 是否还有着色点, 如果没有, 结束, 否则, 转步骤 2

注: 本方法在推导过程中, 用着色点标识研究对象 (节点), 在过程代数表达式用黑体字表示着色点

推导规则 若由着色点  $i$  推导, 可出现以下情况:

情况 1 矩阵  $M$  第  $i$  行元素全为 0, 则该活动为终结活动, 在  $h_i$  后加  $\blacktriangleright$  标识

情况 2 矩阵  $M$  第  $i$  行只有一个非零元素,  $m_{ij} = 1$ , 表示活动  $i$  的后衔接活动只有活动  $j$ , 活动  $i$  与活动  $j$  构成串联关系. 则在  $h_i$  的位置用  $h_i \oplus h_j$  代替, 若  $h_i$  前面有权重系数, 则将表达式用括号括起来

情况 3 矩阵  $M$  第  $i$  行有两个或两个以上非零元素, 不妨设有两个, 且  $0 < m_{ik}, m_{il} < 1, m_{ik} + m_{il} = 1$ , 活动  $k$  与活动  $j$  构成并联关系. 分析节点  $i$ , 有以下两种情况:

情况 3a 循环情况 (如图 5): 节点  $i$  是某活动环的环分支节点, 则  $R_k$  与  $R_j$  必有从属关系, 不妨设  $R_k \subset R_j$ , 则在  $h_i$  的位置用  $h_i \oplus m_{ik}V \otimes m_{ij}CR(h_j) \oplus h_k$  代替

情况 3b 分支情况 (如图 6). 用  $R_{jk}$  表示  $R_k$  和  $R_j$  的相同节点, 在  $h_i$  的位置用  $h_i \oplus m_{ik}h_k \otimes m_{ij}h_j$

代替, 分别从着色点  $j$  和  $k$  继续推导, 直至推导出某节点  $m$   $R_{jk}$ , 过程代数为  $h_i \oplus m_{ik} (h_k \oplus \dots) \otimes m_{ij} (h_j \oplus \dots) \oplus h_m$ . 特殊情况, 若某分支直接到达汇合节点, 则该分支用虚拟活动  $V$  表示; 若  $R_{jk}$  为空, 说明分支没有汇合, 则过程代数没有 ' $\oplus h_m$ ' 部分.

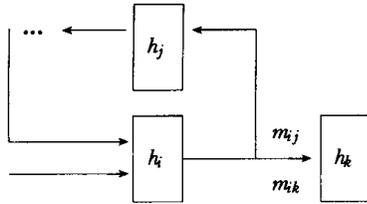


图 5 循环情况

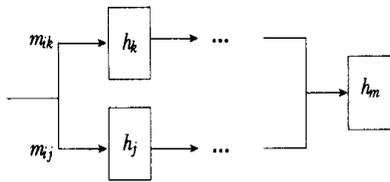


图 6 分支情况

### 4 流程评价

根据过程代数评价流程涉及多指标评价, 评价是为重组服务的. 以下主要从路径(横向)和活动组织(纵向)两个角度分析, 以路径的角度提出优化目标, 以活动组织的角度寻求流程瓶颈所在.

首先简化过程代数表达式: 把活动的组织属性代入过程代数表达式中, 用双下标表示, 例如,  $h_{i,w}$  表示活动  $i$  由组织  $w$  执行, 若有由  $\otimes$  或  $\oplus$  运算符连接的活动均由同一个组织执行, 则将他们合并为一个活动, 例如,  $h_{i,w} \oplus h_{j,w}$  合并为  $h_{k,w}$ , 表示由组织  $w$  执行活动  $k$ , 而活动  $k$  代替活动  $i$  和活动  $j$  的串联活动. 另外, 还可利用过程代数的性质简化其表达式.

#### 4.1 考查活动环

统计有几个活动环, 分析其消耗时间、概率情况.  $m$  表示过程代数中的  $CR()$  的个数,  $T_{CR_i}$  表示  $CR()$  括号内活动的消耗时间总和,  $P_{CR_i}$  表示其概率(若  $m_1 CR()$  处在某个  $m_2()$  内, 则活动环的概率为  $m_1 \times m_2$ ). 活动环的出现使得流程可能进入死循环, 降低效率, 因此应尽量消除.

目标 1  $\min m$ , 且  $\min_{i=1}^m T_{CR_i} \times P_{CR_i}$ , 即环的

个数极小化且环消耗时间(含概率)极小化

#### 4.2 考查活动路径

根据过程代数分析所有活动路径及其概率: 按过程代数运算顺序推导, 用  $L(i) = \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, \dots\}$  表示第  $i$  条路径, 其依次经历活动  $i_1, i_2, i_3, i_4, \dots$ .

步骤 1  $k = 1, L(1) = \{i_1\}, P_k = 1$

步骤 2 执行到活动  $i$ , 搜索所有路径中最后一个活动是  $i$  的路径集合  $\Omega(i)$ , 设有  $X$  条路径, 则:

- (i) 过程代数表达式形式为  $h_i \oplus h_j$ , 则在其后面加上活动  $j$ , 即  $L(e | e \in \Omega(i)) = \{\dots, i, j\}$ .
- (ii) 过程代数表达式形式为  $h_i \oplus m_{ik} h_k \otimes m_{ihl} \otimes \dots$ , 设有  $(n - 1)$  个  $\otimes$  运算符连接  $n$  个并联活动, 则增加  $X \times n$  条路径  $\Omega(i')$ ,  $\dots$ , 其前段活动路径分别与路径集合  $\Omega(i)$  相同,  $L(e | e \in \Omega(i)) = \{\dots, i, k\}$ , 概率为原概率乘于  $m_{ik}$ ,  $L(e | e \in \Omega(i')) = \{\dots, i, l\}$ , 概率为原概率乘于  $m_{il}, \dots$ .

步骤 3 是否到达过程代数表达式的结尾, 是, 则结束, 否则, 转步骤 2, 执行下一个活动.

得流程共有  $m$  个活动路径, 分别为:  $L(i) = \{i_1, i_2, \dots, i_j\}, i = 1, 2, \dots, m, ,$  概率分别为  $P_i$ .

$$\text{设活动 } k \text{ 的耗时为 } t_k, \text{ 则 } T_i = \sum_{k=i_1}^{i_j} t_k$$

$$\text{目标 2 } \min (\max T_i) \text{ 且 } \min_{i=1}^m (T_i \times P_i),$$

即最大消耗时间最小化、平均消耗时间最小化

将  $L(i) = \{i_1, i_2, \dots, i_j\}$  中的活动用其对应的组织属性代替, 并将相邻的同组织合并, 得组织路径  $O(i) = \{o_1, o_2, \dots, o_j\}$ , 则路径  $i$  经过  $U_i (U_i = j)$  次组织交接.

$$\text{目标 3 } \min (\max U_i) \text{ 且 } \min_{i=1}^m (U_i \times P_i),$$

即路径在组织之间交接的最大次数最小化、平均次数最小化

#### 4.3 考查从流程的角度各活动的执行情况

流程的各路径的概率不同, 各路径经过的活动也不同, 在一条路径中, 没有执行某些活动, 而有些活动又执行不止一次(由于活动环的出现),

因此, 分析流程中各活动的执行情况时不能仅仅考虑活动的执行时间, 而应分析活动的流程执行时间

$P_{ij}$  = 活动  $i$  在活动路径  $j$  中的执行次数  $\times$  活动路径  $j$  的执行概率, 表示按概率研究, 若流程执行一次, 活动  $i$  被执行, 且出现在路径  $j$  中执行的次数

$$i = \sum_{j=1}^m P_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad m \text{ 是路径个数, } n$$

是活动个数  $i$  表示按概率研究, 若流程执行一次, 活动  $i$  执行的次数

$$T_i = t_i \times i \text{ 表示活动的流程执行时间}$$

将活动按组织分类, 列活动情况表, 反映各活动的  $T_i$  以及各组织参与的活动的  $T_i$  之和

### 5 计算实例

对例 1 流程, 前面已分析计算出其过程代数, 根据过程代数得如下评价指标:

分析活动环: 有 1 个活动环, 即  $CR(h_5 \oplus h_3 \oplus h_4)$ ,

$$\text{其 } T_{CR} \times P_{CR} = 45 \times 0.3 = 13.5 \text{ h}$$

分析活动路径:

$$L(1) = \{1, 3, 4, 6\}, T_1 = 55\text{h},$$

$$P_1 = 0.56, U_1 = 3;$$

$$L(2) = \{1, 2, 3, 4, 6\}, T_2 = 60\text{h},$$

$$P_2 = 0.14, U_2 = 5;$$

$$L(3) = \{1, 3, 4, 5, 3, 4, 6\}, T_3 = 100\text{h},$$

$$P_3 = 0.24, U_3 = 5;$$

$$L(4) = \{1, 2, 3, 4, 5, 3, 4, 6\}, T_4 = 105\text{h},$$

$$P_4 = 0.06, U_4 = 7.$$

$$\text{最大组织交接次数} = U_4 = 7$$

$$\begin{aligned} \text{平均组织交接次数} &= U_1 \times P_1 + U_2 \times P_2 + \\ &U_3 \times P_3 + U_4 \times P_4 = 1.68 + 0.7 + 1.2 + \\ &0.42 = 4 \end{aligned}$$

### 参考文献

[1] Hammer M. Reengineering work: Don't automate, obliterate[J]. Harvard Business Review, 1990, July/August, 6-12  
 [2] Hammer M, Champy J. Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution [M]. London: Nicholas Brealey Publishing, 1993  
 [3] Buzacott J A. Commonalities in reengineered business processes: models and issues[J]. Management Science, 1996, 42(5): 11-15

$$\text{最大消耗时间} = 105 \text{ h}$$

$$\begin{aligned} \text{平均消耗时间} &= P_1 \times T_1 + P_2 \times T_2 + P_3 \times \\ &T_3 + P_4 \times T_4 = 69.5 \text{ h} \end{aligned}$$

从流程的角度分析各活动

$$1 = P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} =$$

$$0.56 + 0.14 + 0.24 + 0.06 = 1$$

$$2 = P_{22} + P_{24} = 0.14 + 0.06 = 0.2$$

$$3 = P_{31} + P_{32} + P_{33} + P_{34} = 0.56 + 0.14 + 0.48 + 0.12 = 1.3$$

$$4 = P_{41} + P_{42} + P_{43} + P_{44} =$$

$$0.56 + 0.14 + 0.48 + 0.12 = 1.3$$

$$5 = P_{53} + P_{54} = 0.24 + 0.06 = 0.3$$

$$6 = P_{61} + P_{62} + P_{63} + P_{64} =$$

$$0.56 + 0.14 + 0.24 + 0.06 = 1$$

对活动及组织的分析结果见表 1.

表 1 活动情况表

组织	活动	$t_i \times i/h$	组织耗时/h
A	1	10	55.5
	3	39	
	5	1.5	
	6	5	
B	2	1	14
	4	1.3	

根据以上对业务流程及各活动的评价, 即可按文 [8] 提出的人机交互的方法对流程进行改造

### 6 结论

本文提出基于活动属性流程图及过程代数的业务流程表达方式, 进行流程建模, 提出流程的定量的评价指标, 并列活动情况表, 为 BPR 提供了一种有效的支持工具

- [4] Teng J Tc, Fiedler KD, Grover V. An exploratory study of the influence of the IS function and organizational context on business process reengineer project initiatives[J]. *Omega Int. J. Mgmt Sci.*, 1998, 26(6): 679-698
- [5] Kubeck L C. Techniques for business process redesign[M]. Wiley/QuED Publication, 1995. 23-37
- [6] 汪定伟, 唐志文. 基于活动—组织流程图的业务过程重构方法[J]. *管理科学学报*, 1999, 2(3): 39-42
- [7] 朱云龙, 薛劲松, 李红信等. 基于过程重组与集成的 workflow 管理系统研究[R]. 国家863计划自动化领域CMS主题集成化管理专题应用基础研究课题研究报告, 1999. 6-30
- [8] Wrennall W. Facilities planning and design: A foundation of the BPR pyramid[J]. *Industrial Management*, July/August 1997. 11-13
- [9] [日]浅居喜代治. 现代系统工程基础[M]. 北京: 新华出版社, 1987
- [10] 王众托. 系统工程引论[M]. 北京: 电子工业出版社, 1991
- [11] 陈森发. 网络模型及其优化[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992
- [12] 苏松基. 系统工程与数学方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988

## Activity-attribute flow chart and process algebra based approach for business process expression

HUAN G H *ai-xin*, WANG D *ing-wei*

Northeast University, Shenyang 110006, China

**Abstract** In this paper, a new business process expression approach for BPR has been proposed. Firstly, the activity-attribute flow chart is used to describe process. Secondly, the flow chart is analyzed by graph-matrix analysis. Thirdly, a process algebraic formula is drawn out from the matrixes. Finally, the performance of business process is evaluated through the analysis of process algebraic formula. The evaluation of a process is based on the performance probability, the performance time of some process routines, the expectative performance time of the activities in a process, and the total expected performance time of the flow.

**Key words** business process reengineering; activity-attribute flow chart; process algebra; business process modeling; process evaluation