

文章编号: 1001-0920(2005)10-1152-05

供应链 Meta 图模型定量分析研究

樊宏, 刘晋

(五邑大学 管理学院, 广东 江门 529020)

摘要: 简要介绍了基于 Meta 图的供应链形式化模型, 提出将供应链各环节中物料数量、成本、时间、生产能力等因素与 Meta 图模型相结合的赋权技术, 并由此产生赋权 Meta 图概念, 对基于赋权 Meta 图供应链形式化模型的实际运用进行了算例验证, 为采用系统化的手段进行供应链管理定量分析提供了理论基础

关键词: 供应链; Meta 图; 赋权技术; 定量分析

中图分类号: F272; TP311

文献标识码: A

Quantitative Analysis of Metagraph Model for Supply Chain

FAN Hong, LIU Jin

(Management School of Wuyi University, Jiangmen 529020, China Correspondent: FAN Hong, Email: fhong102@126.com)

Abstract: The supply chain formal model based on metagraph is introduced briefly. And the weighted technology is brought forward, which can make the factors in all parts of supply chain such as materials amount, cost, time and production capability combined with the metagraph model. The conception of weighted metagraph is presented. The paradigmatical checking computations of practical application of the supply chain formal model based on weighted metagraph is given. It provides the theoretical base for the quantitative analysis of supply chain management.

Key words: Supply chain; Metagraph; Weighted technology; Quantitative analysis

1 引言

随着科技进步和生产力的发展, 顾客消费水平的不断提高, 企业间竞争的日益加剧, 以及政治、经济、文化等的巨大变化, 使得整个市场需求的不确定性大大增加。顾客需求的多样性以及市场变化的不确定性促使企业不断采用新的制造技术和管理模式, 以提高自身的竞争力。供应链管理就是企业在激烈竞争中自求突破, 与时俱进的结果^[1]。

供应链建模与分析技术是供应链管理中的重要内容。供应链模型大体上可分为描述性模型和形式化模型两大类^[2]。国外学者在这两方面都进行了研究, 而我国学者则主要集中于描述性模型的研究。描述性模型大多以图形方式表示供应链的构成及其要素之间的关系, 其中最为典型的是美国 HP (惠普) 公司的网络模型^[3]。目前影响最大、应用面最广

的是由拥有全球近千家会员公司的社团性组织供应链委员会 (SCC) 提出的供应链运作参考模型 (SCOR)。该模型将整个供应链运作分解为计划、物料获取、制造、交付和反向物流 5 个流程。这类模型主要是为了对供应链有更好的理解, 但无法直接对供应链进行定量分析和设计。形式化分析模型主要用于对供应链进行定量分析, 从而优化供应链的设计。迄今为止, 最为全面的定量分析模型当属美国 DEC 公司所建立的混合整数规划模型^[4], 它考虑了客户、供应商、人力资源、运输模式、减免税情况等多方面因素, 其最大优点是从全局出发进行优化设计。但从计算复杂度角度考虑, 在考虑因素较多的情况下, 求解极为困难。另外, 整数规划模型是纯数学模型, 建模人员与管理人员之间沟通困难, 影响到它的使用和推广。其他的大多数定量模型则分别

收稿日期: 2004-10-20; 修回日期: 2005-03-01

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (021352); 广东省“千百十工程”培养基金项目 (Q02119)

作者简介: 樊宏 (1957—), 男, 山西定襄人, 副教授, 硕士, 从事物流与供应链管理的研究; 刘晋 (1956—), 女, 武汉人, 教授, 博士, 从事供应链管理、管理信息系统的研究

从供应链中某一环节出发来处理问题, 如对供应链中的采购、生产、运输、库存等分别建立运筹学模型求解。文献[3]将供应链中的活动分为销售、制造、采购、移动和存储 5 种模块, 在这 5 种模块之间建立先后顺序, 然后分别求解。这类方法的优点是每次只考虑一个方面的问题, 从而使问题简化, 但同时导致整个问题的解是由若干局部最优解构成, 无法从全局角度进行优化。因此, 需要有一种既能针对考虑各种不同因素的多种供应链性能进行全局定量分析, 又便于建模人员和管理人员进行交流与沟通的灵活方便的建模体系和方法。

用于全局定量分析的供应链形式化模型研究是当前供应链管理理论研究中的前沿课题。本文提出基于Meta图的供应链形式化模型集可视化和形式化于一体, 为用系统化的手段进行供应链管理的定量分析提供了理论基础。但其基本模型仅反映了产品的构成要素, 而对BOM表(物料清单)中物料的数量关系以及供应链管理中所关心的成本、时间、生产能力等因素却不能反映。为此本文又提出了赋权技术, 将供应链各环节中的物料数量、成本、时间、生产能力等因素在Meta图中表示出来, 以实现供应链Meta图形式化模型的定量分析和计算。

2 供应链Meta图模型

2.1 Meta图

Meta图是Basu等于1992年提出的一种用于系统描述和分析的图形结构^[5]。该结构是传统图论的扩展, 它综合了有向图、无向图以及后来发展起来的超图(Hypergraph)和与或图(AND/OR Graph)等各种图形工具的优点, 不仅可以对各种系统进行直观的图形表述, 而且具有很强的形式化描述和分析能力, 可应用于决策支持系统^[6]、层次化建模^[7]、工作流(workflow)分析与管理^[8]等领域, 具有广泛的适用性。

定义 1 有限元素的集合 $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, I\}$ 称为生成集, 将 X 上的一个Meta图记为 S , 则 S 是一个有序对 $S = (X, E)$ 。其中 $E = \{e_k | k = 1, 2, \dots, K\}$ 是图中弧的集合, E 中的每一条弧 e_k 也是一个有序对 (V_k, W_k) , $V_k \subseteq X$ 称为 e_k 的入点集, $W_k \subseteq X$ 称为 e_k 的出点集。图 1 为一个Meta图的例子。

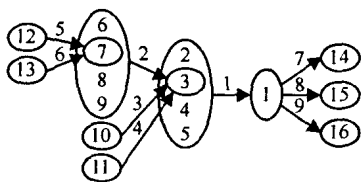


图 1 一个Meta图

Meta图与传统有向图的相同点是它们都由节点和弧(或边)组成, 节点代表研究的对象, 弧或边代表这些对象之间的关系。两者的区别是, 有向图中弧的有序对由 2 个单一元素构成, 而Meta图中弧的有序对由 2 个生成元的集合 V_k, W_k 构成。

Meta图的重要特性是它的连通性, 即可以从一个生成元的集合出发, 经过一些弧连通到另一个生成元的集合。生成元集合之间的连通性可用Meta路描述。

2.2 Meta路和最大Meta路

定义 2 给定Meta图 $S = (X, E)$, 对于 X 的两个子集 $B, C \subseteq X$, 从 B 到 C 的一个Meta路 $M(B, C)$ 是一个弧的集合, 记为 $M(B, C) = \{f_l, l = 1, 2, \dots, L\}$, 其中 $f_l = (V_l, W_l)$, 并且:

- 1) 存在一组通路 $\{P_r(b_r, c_r) | b_r \in B, c_r \in C, r = 1, 2, \dots, R\}$, 使 $M(B, C) = \bigcap_{r=1}^R \text{Set}(P_r(b_r, c_r))$;
- 2) $\bigcup_{l=1}^L V_l \setminus \bigcup_{l=1}^L W_l \subseteq B$;
- 3) $C \subseteq \bigcup_{l=1}^L W_l$ 。

其中算子 $\text{Set}(\bullet)$ 将通路的弧序列转换为弧的集合, 即 $\text{Set}(e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_k}) = \{e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_k}\}$ 。

定义 3 对于供应链中一条给定的Meta路 $M(B, C)$, 其中 C 是单元素集, 其生成元 $c \in C$ 代表供应链的最终产品。若对于 $\forall b_r \in B$, 均有 b_r 为叶元, 则称该Meta路是以 c 为目标的最大Meta路, 记为 $M(c)$ 。

图 1 中, 弧的集合 $\{1, 3\}$ 是一条Meta路, 其源点集为 $\{2, 4, 5, 10\}$ 。因为生成元 2, 4, 5, 10 均不存在于任何弧的出点集中, 故Meta路 $\{1, 3\}$ 是一条最大Meta路。

2.3 基于Meta图的供应链模型

本文将BOM表中的物料(成品、在制品和原材料)用Meta图中的生成元表示, 而将物料状态的变化过程(加工、装配或运输)用图中的弧表示, 那么弧的出点集代表某一种产品(成品或在制品), 弧的入点集代表制成该产品所需的物料(原材料或零配件)种类。

图 1 代表了图 2 所示的一家微机生产企业的供应链模型, 图 1 中各生成元的编号对应于图 2 中各部件的编号, 但图 1 在图 2 的基础上增加了 3 个分销中心(生成元 14, 15 和 16)。

这种基于Meta图的建模方法可用图形对供应链结构进行描述, 同时又可运用Meta图的计算能力, 以系统化的手段从全局出发对供应链进行定量

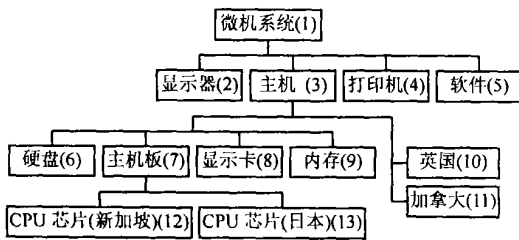


图2 一家微机生产企业的动态分级BOM结构

分析和设计, 而实现这种定量分析的关键是赋权技术的运用

3 赋权技术与赋权Meta图

赋权技术实现了供应链管理中所关心的成本、时间、生产能力等因素与Meta图相结合, 将供应链各环节中的相关因素在Meta图中表示出来, 由此产生了赋权Meta图概念, 以实现利用Meta图模型对供应链进行定量分析^[9]。

定义4 设 $S = X, E$ 为一个Meta图

1) 映射 $MX: X \rightarrow WX$ 称为 S 上生成元的权函数 其中 $WX = WX_1, WX_2, \dots, WX_{M_1}$ 为多元组, 多元组中的每一项 WX_i 为一非负实数集合, 即对于任意 $x \in X$, $WX(x) = (WX_1(x), WX_2(x), \dots, WX_{M_1}(x))$ 代表由 M_1 个非负物理量组成的有序组合

2) 映射 $ME: X \rightarrow WE$ 称为 S 上弧的权函数 其中 $WE = WE_1, WE_2, \dots, WE_{M_2}$ 为多元组, 多元组中的每一项 WE_i 为一非负实数集合, 即对于任意 $e \in E$, $WE(e) = (WE_1(e), WE_2(e), \dots, WE_{M_2}(e))$ 代表由 M_2 个非负物理量组成的有序组合

定义5 四元组 $SW = X, E; WX, WE$ 称为一个赋权Meta图, 当且仅当: 1) $S = X, E$ 是一个Meta图; 2) WX 和 WE 分别是 S 上生成元和弧的权函数

4 赋权Meta图模型在供应链中的应用

(1) 物料数量关系在模型中的表示

当供应链中下一级物料由几种上一级物料组成时, 根据BOM表, 将所需的上一级物料的数量由其对应的生成元上的权值表示

(2) 成本因素在模型中的表示

供应链中的成本主要由两大部分构成: 1) 物料购买成本; 2) 对物料进行加工所需的成本 以供应链上游为例, 因为供应链Meta图模型用生成元表示产品和半成品, 因此对图中的叶元赋权, 以表示对应物料的单位采购成本(价格和业务费用)、运输成本等制造前的一切费用, 而对于图中非叶元则以存贮成本为主 对于图中的弧, 可通过赋权表示产品的加工成本 加工成本可分为生产成本和运输成本两

类 其中生产成本包括设备、人员和次要配套件费用, 运输成本则包含运费、运输保险费和报关等费用

需要说明的是, 传统成本核算是以直接成本和间接成本方式进行的, 而本文在供应链Meta图中却是按供应链中的各环节来分配成本的 因此, 这里的模型要求使用ABC(Activity-Based Costing)^[10] 的思想和方法进行成本表述和计算

(3) 时间因素在模型中的表示

与成本因素类似, 供应链中的时间也主要由两大部分构成: 1) 采购物料的时间; 2) 加工物料所需的时间 因此可以参照对成本的处理方式将供应链中的时间反映到供应链Meta图模型中

(4) 生产能力等因素在模型中的表示

对于给定的供应链, 其能力并不是无穷的, 它只能在一定的条件下满足市场对产品的需求 本文在模型中用图中生成元和弧的容量表示生产能力约束 其中: 叶元的容量权值表示供应商的最大供应能力(受生产加工能力或运输能力的约束) 和直接下游企业的存贮容量; 非叶元的容量权值仅表示该场所的存贮容量; 弧上的容量权值则表示该弧所代表的加工能力

5 模型算例

利用供应链的赋权Meta图模型, 可分别定义供应链的速度、成本和柔性等性能测度

1) 供应链的速度是指供应链群体从收到顾客的客户化订单到交付产品的整个时间周期, 包括供应链上全部成员企业的采购、运输、存贮、设备切换等生产准备时间和生产制造时间 其时间长度等于供应链中所有流程中费时最长的流程所用的时间总和 其数学定义如下:

定义6 给定供应链Meta图 $S = X, E$ 中从 b 到 c 的一条通路 $P(b, c) = e_l, l = 1, 2, \dots, L$, 其中 $f_l = V_l, W_l$, 且将 W_l 中的唯一元素记为 w_l 若将通路中弧 e_l 上的各类时间的权值集合记为 $T(e_l)$, 生成元 w_l 上的各类时间的权值集合记为 $T(w_l)$, 则通路 $P(b, c)$ 上的时间长度为

$$TL(b, c) = T(b) + \sum_{l=1}^L [T(e_l) + T(w_l)] \quad (1)$$

定义7 给定供应链Meta图模型 $S = X, E$ 中的一条以 c 为目标的极大Meta路 $M(c), b \in B$ 为其中的一个叶元, 若对于 $\forall b \in B$, 均有 $TL(b, c)$ 为 $M(c)$ 中的关键路径, 亦即供应链 $S = X, E$ 的关键路径

定义8 给定供应链 $S = X, E$, 则其中的关

键路径 $P(b, c)$ 的时间长度 $TL(b, c)$ 称为该供应链的速度, 记为 $TSPEED$.

2) 供应链总成本是指为了生产单位产品, 供应链中各个环节上的直接物料成本和相关加工成本的总和 其数学定义如下:

定义 9 给定供应链Meta图模型 $S = X, E$ 中的一条以 c 为目标的最大Meta路 $M(c)$, 记为 $M(c) = \{e_l, l = 1, 2, \dots, L\}$. 其中 $e_l = V_l, w_l$, 且满足 $V_l = \{v_m, m = 1, 2, \dots, M\}$ 是生成元的集合, 而 w_l 为单个生成元 若将弧 f_l 上的成本权值记为 $C(e_l)$, 生成元 v_m 上的成本权值记为 $C(v_m)$, 则该供应链的总成本为

$$TCOST = \sum_l \left[\sum_m C(v_m) + C(e_l) \right] + C(c). \quad (2)$$

3) 供应链的匹配能力是指在各个环节中生产加工或存贮能力约束条件下, 整个供应链的最大生产能力 其数学定义如下:

定义 10 给定供应链Meta图 $S = X, E$, 其中的弧为 $e_l = V_l, w_l$, 弧的入点集 $V_l = \{v_m, m = 1, 2, \dots, M\}$. 弧 e_l 上容量的权值记为 $ACLM_1(e_l)$, 其中可用于该产品的容量记为 $ACLM_2(e_l)$; 生成元 v_m 上容量的权值记为 $NCLM_1(v_m)$, 其中可用于该产品的容量记为 $NCLM_2(v_m)$. 若将上述容量按照SCBOM(供应链BOM)的数量关系换算成以单位最终产品表示的加工能力, 分别记为 $PACLM_1(e_l)$, $PACLM_2(e_l)$, $PNCLM_1(v_m)$ 和 $PNCLM_2(v_m)$, 则分别称这些量为弧上(生成元上)的最大匹配能力和可用匹配能力 所有弧上和生成元上的可用匹配能力的最小值是整个供应链的可用匹配能力, 记为

$$PMAT = \min \{ PAACLM_2(e_l), PNCLM_2(v_m) \mid e_l \in E, v_m \in X \}. \quad (3)$$

4) 这里供应链的柔性是指当产品需求超出供应链供应能力(全链最大匹配能力)的 20% 时, 产品交付所要延长的天数, 又称向上柔性 向上柔性不完全取决于供应链的网络结构, 还与生产的组织管理以及供应链各成员之间的协调有关 因此不可能在事前给出精确的数据, 只能根据其最理想情况和最坏情况分别确定其下限和上限 下面分别给出向上柔性下限和上限的数学定义:

定义 11 给定供应链Meta图 $S = X, E$ 和其上的一条最大Meta路 $M(c)$, 设 $M(c)$ 中的弧为 $e_l = V_l, w_l$, 弧的入点集 $V_l = \{v_m, m = 1, 2, \dots, M\}$. 弧 e_l 上的时间参数和松弛系数分别为 $T(e_l)$ 和 $RLX(e_l)$, 生成元 v_m 上的时间参数和松弛系数分别为 $T(v_m)$ 和 $RLX(v_m)$, 则该供应链的向上柔性的下限LBSC可表示为

$$LBA = \max_i \{ (20\% - RLXA(e_i)) \times T(e_i) \mid RLXA(e_i) < 20\% \}, \quad (4)$$

$$LBN = \max_m \{ (20\% - RLXN(v_m)) \times T(v_m) \mid RLXN(v_m) < 20\% \}, \quad (5)$$

$$LBSC = \max \{ LBA, LBN \}. \quad (6)$$

式中时间参数 $T(e_l)$ 和 $T(v_m)$ 是指满负荷时的可变时间总量, 在实际计算时也可通过可变时间系数(速率)换算得出

定义 12 给定供应链Meta图 $S = X, E$ 和其上的一条最大Meta路 $M(c)$, 其中 $M(c)$ 的源点集合为 B . 若从任一叶元 $b \in B$ 到根元 c 的通路为 $P(b, c) = \{e_l, l = 1, 2, \dots, L\}$, 其中的弧为 $e_l = V_l, w_l$. 弧 e_l 上的时间参数和松弛系数分别为 $T(e_l)$ 和 $RLX(e_l)$, 生成元 w_l 上的时间参数和松弛系数分别为 $T(w_l)$ 和 $RLX(w_l)$, 则该通路的向上柔性的上限UBPATH_b可表示为

$$UBPATH_b = \max_{\substack{[20\% - RLXA(e_l)] \times T(e_l) + \\ RLXA, N < 20\%}} \{ [20\% - RLXN(w_l)] \times T(w_l) \} + (20\% - RLXN(b)) \times T(b) \times SWH. \quad (7)$$

式中

$$SWH = \begin{cases} 1, & RLXN(b) < 20\%; \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

整个供应链的向上柔性的上限UBSC可表示为

$$UBSC = \max_b \{ UBPATH_b \}. \quad (9)$$

注 1 上述对于向上柔性的有关概念的定义均针对单一方案的情况, 其整体的匹配能力和向上柔性的计算均需进行修正

定义 11 和 **定义 12** 中 $RLX(e_l)$ 和 $RLX(v_m)$ 表示松弛系数, 其数学定义如下:

定义 13 给定供应链Meta图 $S = X, E$, 其中的弧为 $e_l = V_l, w_l$, 弧的入点集 $V_l = \{v_m, m = 1, 2, \dots, M\}$, 弧 e_l 上的最大匹配能力为 $PACLM_1(e_l)$, 生成元 v_m 上的最大匹配能力为 $PNCLM_1(v_m)$, 供应链上的整体匹配能力为 $PMAT$, 则弧 e_l 上的松弛系数 $RLX(e_l)$ 和生成元 v_m 上的松弛系数 $RLX(v_m)$ 分别表示为

$$RLXA(e_l) = \frac{PACLM_1(e_l) - PMAT}{PMAT}, \quad (10)$$

$$RLXN(v_m) = \frac{PNCLM_1(v_m) - PMAT}{PMAT}. \quad (11)$$

对于图 1 所示的微机生产供应链, 为生成元和弧分别赋予时间、成本、最大能力和可用能力等权值 限于篇幅, 赋值过程及数据略

首先利用最大Meta路算法求出4条最大Meta路,对应着4套不同的供应链方案,分别为{1, 2, 5}, {1, 2, 6}, {1, 3}, {1, 4};其源点集合分别为{2, 4, 5, 6, 8, 9, 12}, {2, 4, 5, 6, 8, 9, 13}, {2, 4, 5, 10}, {2, 4, 5, 11}。利用速度算法得到4套方案的速度分别为110 d, 125 d, 65 d, 55 d;利用成本算法得到4套方案的成本分别为:10 110元, 10 220元, 11 300元, 11 480元;利用匹配能力算法得到4套方案的匹配能力分别为2 500万台, 2 000万台, 2 500万台, 1 800万台;利用向上柔性下限算法得到4套方案的向上柔性下限分别为11 d, 6 25 d, 11 d, 3 61 d;利用向上柔性上限算法得到4套方案的向上柔性上限分别为20 d, 23 d, 11 d, 5 d。计算结果如图3所示,每幅图中的横轴分别代表4种供应链方案,纵轴分别代表供应链的速度、成本、匹配能力和柔性

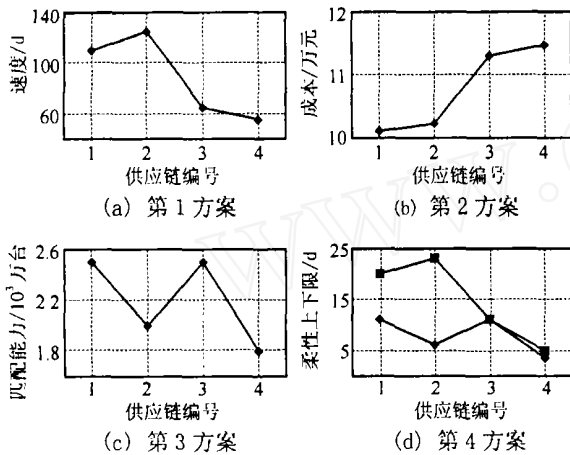


图3 微机生产供应链4种方案测度的图形显示

从图3可以看出,这4套方案各有所长:第1套方案的成本最低;第3套方案的匹配能力和第1套同为最大;第4套方案的速度最快,向上柔性最好;第2套方案则没有突出的测度值。企业决策者可根据这些定量结果从中选出对自己有利的方案。当对几种测度需要综合考虑时,则可利用加权或其他多目标规划方法,从中选出最佳方案。

6 结 语

本文从战略层面研究了供应链的定量分析模型,提出一种系统化的建模和分析手段。目前,国际上使用的关于供应链绩效的测评,大都根据供应链

的实际运行情况进行统计得到的,属事后评价模式,而本文方法则可作为供应链组建时的事前评价手段。此外,该方法与传统的数学建模方法相比具有以下优点:

1) 以图形的形式表示供应链模型,便于建模人员与管理人员之间的沟通和理解,从而提高了模型的可信度;

2) 该方法在处理多种因素方面,更为便捷,当所考虑的因素不同时,只需对生成元和弧的权值向量进行修改即可,无需对模型本身进行变动。

参考文献(References)

- [1] 马士华,林勇,陈志祥. 供应链管理[M]. 北京:机械工业出版社,2000:12-26
(Ma S H, Lu Z X. Supply Chain Management [M]. Beijing: China Machinery Press, 2000: 12-26)
- [2] Govil M, Proth J M. Supply Chain Design and Management [M]. Academic Press, 2002
- [3] Davis T. Effective Supply Chain Management [J]. Sloan Management Review, 1993, 34(4): 35-46
- [4] Arntzen B C, Brown G G, Harrison T P, et al. Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation [J]. Interfaces, 1995, 25(1): 69-93
- [5] Basu A, Banning R W. Metagraphs [J]. Omega, 1995, 23(1): 13-25
- [6] Basu A, Banning R W. Metagraphs: A Tool for Modeling Decision Support Systems [J]. Management Science, 1994, 43(12): 1579-1600
- [7] Basu A, Banning R W, Shtub A. Metagraphs in Hierarchical Modeling [J]. Management Science, 1997, 43(5): 623-639
- [8] Basu A, Banning R W. Metagraph Transformations and Workflow Management [A]. Proc of the 30th Hawaii Int Conf on System Science (HICSS 230) [C]. Hawaii: IEEE Computer Society Press, 1997: 359-366
- [9] 刘晋,沈春林. 供应链的一种形式化建模方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2001, 33(6): 537-543
(Liu J, Shen C L. Formal Modeling Method for Supply Chain Management [J]. J of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2001, 33(6): 537-543)
- [10] Edward Forrest. Activity-based management [M]. New York: McGraw-Hill, 1996: 298-352

(上接第1151页)

- [12] Ronen I, Braffman, Moshe, Tennenholtz. Modeling Agents as Qualitative Decision Makers [J]. Artificial Intelligence, 1997, 94(1-2): 217-268
- [13] Harry R Lewis. Elements of the Theory of Computation [M]. Upper Saddle River, N J: Prentice-Hall Inc, 1998

- [14] Wolfram S. Theory and Applications of Cellular Automata [M]. Singapore: World Scientific, 1986
- [15] Christopher G Langton. Artificial Life, SFI Studies in the Sciences of Complexity [M]. Redwood City: Addison-Wesley Publishing Company, 1988