第 5 卷第 2 期　　管 理 科 学 学 报　　Vol. 5 No. 2
2002 年 4 月　　JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA　　Apr., 2002

供应链的协作供应问题研究①

刘春林[1], 何建敏[2], 施建军[1]
(1. 南京大学商学院, 南京 210093; 2. 东南大学经济管理学院, 南京 210096)

摘要: 当供应链某活动环节的物资需求量过大时, 一个供应点常常不能提供其全部所需物资. 因此, 实际应用中需要多个供应点共同参与. 针对供应链物资需求的特点, 提出了多点协作供应的数学模型, 通过引入可行方案的定义, 给出了可行方案存在的判定定理, 以及可行方案的构造方法. 然而一个可行方案可能包含太多的供应点(太多的供应点有时意味着较高的生产准备费用), 因此该方案可能并不实用. 考虑到方案可靠性及费用, 给出了求取优化方案的一个启发式方法. 最后对模型的系统软件集成进行了简单探讨.

关键词: 供应链; 可行方案; 协作
中图分类号: F273　　文献标识码: A　　文章编号: 1007-9807(2002)02-0029-05

0 引 言

80 年代及 90 年代初期, 全球范围内许多公司都开始使他们的采购和制造流程遵循一个严格的规定. 现在, 商业组织正采取更严格的行为来控制整个供应链, 公司要求他们的仓库和物流调配系统不仅能够降低成本, 而且能有效地满足客户服务, 即所谓的更少的成本和更多的服务. 降低成本可以通过减少不必要的库存和流转时间, 提高生产能力和数量以及优化分配等手段实现. 但是所有这些都要求供应链必须具有一个相对稳定的结构, 随机因素必须在可控制的范围内[1], 因为降低成本意味着任何价值活动不再像原先一样有足够多的缓冲库存或者剩余能力应付突发事件(如突然变大的需求). 于是供应链对突发事件的处理更多依赖于整体的协作, 企业的价值活动不再囿于原先狭小范围的能力而逐步扩充到整个供应链, 供应链范围内的所有资源可以在一定条件下共享, 基于 internet 的信息交互为供应链整体协作优化提供了可能[1-3].

1 供应链的协作调度问题

许多价值活动计划常常对供应链某环节的物资需求提出要求, 很多情况下, 该环节对同一物资的需求可以表述为确定的时间表, 当需求大幅度增加时, 基于控制库存约束成本的原因, 处于最近的单个物资供应点常常不能提供所需全部物资, 于是从整个供应链范围形成组合协作调运方案, 保证供应不间断成为一项重要的研究问题. 具体可以抽象出如下数学模型.

在供应链的某节点 A 上, T_j 时刻的某种物资需求数量为 y_j, $j = 1, 2, \cdots, p$, 设 $A_1, A_2, \cdots, A_n$ 为 n 个可提供物资的储备中心(或称供应点, 以下用 depot 表示), A_i 的物资可供应量为 $x_i (> 0)$, $i = 1, 2, \cdots, n$, 物资从 A_i 运送到 A 需要的时间为 $t_i (> 0)$, A 既是供货地点又是受货地点(图 1), 为方便表述, 不妨设 $T_1 < T_2 < \cdots < T_p$, $t_1 < t_2 < \cdots < t_n$. 现在的问题是如何给出一个满足供应需求的方案. 所谓的供应方案就是确定参与的供应点以及各自提供的物资数量.

① 收稿日期: 2000-09-20; 修订日期: 2002-01-10.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70101003).
作者简介: 刘春林(1970-), 男, 安徽天长人, 博士.

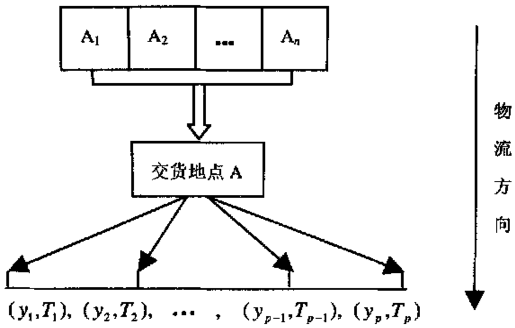

图 1 多供应点多时间需求的库存管理问题

在供应链管理中, 这一模型有许多实际应用背景. 例如成品计划生产数量的增大将引起未来某时刻对原料需求的同比例增加, 并导致原先该环节所依附的供应点不能提供全部所需物资, 因而必须寻求供应网络中的其它物资供应点共同参与, 以保证生产的连续不间断进行. 另一种更普遍的情况就是, 在供应链设计阶段, 就考虑由多个 depot 来维持该环节的价值活动, 这样即使不发生需求突变, 其调运方案的制作也是通过对多个 depot 的整体优化实现的.

2 相关问题描述

按照前面的描述, 供货方案就是确定提供物资的储备中心及各自提供的物资数量, 因而任一方案 φ 可以用集合形式表示为

$$\varphi = \{(A_{i_1}, x'_{i_1}), (A_{i_2}, x'_{i_2}), \cdots, (A_{i_m}, x'_{i_m})\} \quad (1)$$

其中 $0 < x'_{i_k} \le x_{i_k}$, $i_1, i_2, \cdots, i_m$ 为 $1, 2, \cdots, n$ 的一个排列, 并且 $\sum_{k=1}^{m} x'_{i_k} = \sum_{k=1}^{p} y_k$.

上面定义的方案 φ 确定了参与的 depot, A_{i_1}, $A_{i_2}, \cdots, A_{i_m}$, 这些 depot 提供的物资数量分别为 $x'_{i_1}, x'_{i_2}, \cdots, x'_{i_m}$. 如果两个方案仅仅是调换一下元素次序, 则认为它们是相同的. 在定义方案时, 给出了两个限制条件, 第 1, depot 提供的物资数量不能大于可供应量; 第 2, 总需求等于总供给. 这里对方案的定义类似于文[3, 4].

由于需求发生在不同时间点上, 因而给出的方案必须使得每个时间点的供应量足够大才行. 于是方案 φ 保证供应链不间断的条件可以用数学语言表示为 $\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$

$$\sum_{k \in \{i \mid t_i \le T_j,\, i \in \mathrm{sub}(\varphi)\}} x'_k \ge \sum_{k=1}^{j} y_k \quad (2)$$

$\mathrm{sub}(\varphi)$ 为 φ 对应的 depot 的下标集合, 对于式 (1), $\mathrm{sub}(\varphi) = \{i_1, i_2, \cdots, i_m\}$.

式(2) 左边表示, 到 T_j 时刻为止依据方案 φ 的全部到达物资量; 右边表示到 T_j 时刻为止的全部需求. 对任意的 T_j, 式(2) 成立, 则表示方案 φ 能够保证供应链不间断. 于是引出如下可行方案的定义.

定义 1 如果 $\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$, 方案 φ 使式 (2) 成立, 则称 φ 是可行的.

根据定义 1, 如果方案是可行的, 那么对任何需求时间点 T_j, 根据方案 φ 已经到达的全部物资量一定不小于到时刻 T_j 止的全部需求(式(2) 的左边不小于式(2) 的右边).

为了对上述相关问题有一个清楚认识, 下面通过一个贯穿全文的例子给予说明.

表 1 列出了 10 个储备中心的一些情况, 表 2 则给出今后一段时间的所有需求情况.

表 1 供应点运输时间及物资储备情况表

供应点	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
t_i	1	2	3	4	5	6	8	9	11	15
x_i	5	2	7	9	7	12	24	9	15	10

表 2 需求情况表

i	1	2	3	4
T_i	2	6	8	10
y_i	2	17	1	29

如果方案 $\varphi_1 = \{(A_2, 2), (A_4, 5), (A_7, 23), (A_9, 10), (A_{10}, 9)\}$, 则 $\mathrm{sub}(\varphi_1) = \{2, 4, 7, 9, 10\}$, 并且当 $j = 2$ 时, $T_j = 6$, 故

$$\sum_{k \in \{i \mid t_i \le T_j,\, j \in \mathrm{sub}(\varphi_1)\}} x'_k = \sum_{k \in \{i \mid t_i \le 6,\, i \in \{2, 4, 7, 9, 10\}\}} x'_k = x'_2 + x'_4 = 7 < y_1 + y_2 = 19$$

显然当 $j = 2$ 时, 式(2) 不成立, 即根据方案 φ_1, 到时刻 6 为止总共到达物资量为 7, 而需求量为 19, 因而方案 φ_1 不可行.

3 可行方案存在性定理

作为重点, 本文试图回答这样几个问题, 可行方案是否存在? 若存在, 如何寻找一个可行方案?

进一步, 如何给出一个比较经济的可行方案?

设所有可行方案的集合为 Π, 下面定理首先回答了可行方案的存在性问题 (为说明问题的方便, 不失一般性, 必要时假定 $i_0 = 0, j_0 = 0, x_0 = 0, y_0 = 0, \sum_{i\in\varnothing} x_i = 0, \sum_{i\in\varnothing} y_i = 0$)

定理 1 可行方案存在(即 $\Pi \neq \varnothing$) 的充分必要条件是 $\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$

$$\sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\{1,2,\cdots,n\}\}} x_k \ge \sum_{k=1}^{j} y_k \tag{3}$$

证明 如果对某个 $j \in \{1, 2, \cdots, p\}$,

$$\sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\{1,2,\cdots,n\}\}} x_k < \sum_{k=1}^{j} y_k,$$

那么对任意方案 φ, 有

$$\sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\mathrm{sub}(\varphi)\}} x_k' \le \sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\{1,2,\cdots,n\}\}} x_k < \sum_{k=1}^{j} y_k$$

对于这个 j, 式(2) 不成立, 于是任意方案 φ 不可行, 必要性得证

如果对 $\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$, 式(3) 成立, 则构造如下方案

$$\varphi' = \left\{(A_1, x_1), (A_2, x_2), \cdots, (A_{q-1}, x_{q-1}), \left(A_q, \sum_{k=0}^{p} y_k - \sum_{k=0}^{q-1} x_k\right)\right\} \tag{4}$$

q 是满足下列条件的下标

$$\sum_{k=0}^{q-1} x_k < \sum_{k=0}^{p} y_k \le \sum_{k=0}^{q} x_k \tag{5}$$

(由于根据题设, 式(3) 成立, 故当 $j = p$ 时, 可以推出 $\sum_{k=1}^{n} x_k \ge \sum_{k=1}^{p} y_k$, 因而存在 $q, 0 < q \le n$, 使得式(5) 成立)

为不影响证明的连续性, 将在后面讨论 φ' 的物理意义

以下证明 φ' 是可行的

$\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$, 如果 $T_j < t_q$, 显然

$\{i | t_i \le T_j, i \in \{1, 2, \cdots, n\}\} =$

$\{i | t_i \le T_j, i \in \mathrm{sub}(\varphi')\}$

根据方案 φ', 已经到达的全部物资量(式(2) 左边) 为

$$\sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\mathrm{sub}(\varphi')\}} x_k = \sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\{1,2,\cdots,n\}\}} x_k \ge \sum_{k=1}^{j} y_k$$

如果 $T_j \ge t_q$, 根据方案 φ', 已经到达的全部物资量(式(2) 左边) 为

$$\sum_{k\in\{i|t_i\le T_j, i\in\mathrm{sub}(\varphi')\}} x_k = \sum_{k=1}^{j} y_k$$

也就是说, $\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$, 式(2) 成立, 充分性得证 证毕

定理 1 给出了可行方案存在的充分必要条件, 同时还构造了一个方案 φ', φ' 的物理意义是: 选取离交货地点 A 最近的 depot(A_1), 如果它的全部物资量 x_1 小于总需求量 $\sum_{k=1}^{j} y_k$, 则再让第 2 近的 A_2 参加, 如果 A_1 和 A_2 的全部物资量之和 $x_1 + x_2$ 还小于总需求量 $\sum_{k=1}^{j} y_k$, 则让第 3 近的 A_3 参与, 如此等等, 直至满足物资总需求量

根据定理 1, 容易验证表 1 和表 2 给出的例子存在可行方案, 即 $\Pi \neq \varnothing$, 同时依据定理 1 的证明过程, 可以构造一个可行方案 φ'

$$\varphi' = \{(A_1, 5), (A_2, 2), (A_3, 7), (A_4, 9), (A_5, 7), (A_6, 12), (A_7, 7)\}$$

4 优化可行方案的选取算法

以上讨论可以发现, 如果 $\Pi \neq \varnothing$, 可以构造出可行方案 $\varphi'(\in \Pi)$, 但是 φ' 可能包含了太多的 depot, 对于本例 φ' 包含了 7 个. 从系统的稳定性或费用出发[5, 6], 更希望求出的方案在保证供应链不间断条件下包含 depot 的个数尽可能少, 因为 depot 数目的多少直接关系到方案的可靠性, 并且从费用角度来看, depot 数目的多少又直接关系到总设置费用(setup cost). 假定用 $N(\varphi)$ 表示方案 φ 对应的 depot 的数目, 当 $\Pi \neq \varnothing$ 时, 优化问题变成

$$\min_{\varphi\in\Pi} N(\varphi) \tag{6}$$

以下引入问题(6) 的一个启发式算法 为了对该算法有所了解, 首先给出一个序列的"有效供应点集"以及"有效供应量"概念的定义, 然后通过对表 1 和表 2 数据进行求解, 归纳出式(6) 启发式解 φ 的算法步骤, 最后总结 φ 的一些良好性质

定义 2 如果将序列 $x_{i_1}, x_{i_2}, \cdots, x_{i_k}$ 从大到小排序得到 $x_{j_1}, x_{j_2}, \cdots, x_{j_k}$; $x_{j_1} \ge x_{j_2} \ge \cdots \ge x_{j_k}$, 对于任意数量 x, 如果存在下标 r 使得 $\sum_{e=0}^{r-1} x_{j_e} < x \le$

$\sum_{e=0}^{r} x_{j_e}$, 则称相应供应点集合$\{A_{j_1}, A_{j_2}, \cdots, A_{j_r}\}$ 为 $x_{i_1}, x_{i_2}, \cdots, x_{i_k}$ 关于数量 x 的有效供应点集, $\sum_{e=0}^{r} x_{j_e}$ 为相应有效供应点集的有效供应量

定义 2 蕴涵这样的概念, 即如果把$A_{i_1}, A_{i_2}, \cdots, A_{i_k}$ 作为候选供应点, 在满足需求 x 的任何组合中, 有效供应点集是供应点数目最少的组合.

对表 1 和表 2 列出的数据, φ 的具体求解方法如下.

首先找出到达时间不大于 $T_1(T_1 = 2)$ 的所有供应点$\{A_1, A_2\}$, 确定$\{x_1, x_2\}$ 关于 $y_1 = 2$ 的有效供应点集$\{A_1\}$, 以及相应有效供应量 5; 由于 5 小于到 $T_2(T_2 = 6)$ 时刻为止的总需求 19(2 + 17), 找出除A_1 外的到达时间不大于 $T_2(T_2 = 6)$ 的所有供应点, 得到$\{A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$, 确定该序列关于$y_1 + y_2 - x_1 = 14$ 的有效供应点集$\{A_6, A_4\}$, 合并后得到$\{A_1, A_6, A_4\}$ 相应总供应量为 26; 由于总供应量 26 大于到 $T_3(T_3 = 8)$ 时刻为止的总需求 20, 小于到 $T_4(T_4 = 49)$ 时刻为止的总需求, 找出除$\{A_1, A_6, A_4\}$ 外到达时间不大于 $T_4(T_4 = 10)$ 的所有供应点$\{A_2, A_3, A_5, A_7, A_8\}$, 得到其关于 $y_1 + y_2 + y_3 + y_4 - x_1 - x_4 - x_6 = 23$ 的有效供应点集$\{A_7\}$, 于是

$$\varphi = \{(A_1, x_1), (A_6, x_6), (A_4, x_4), (A_7, 49 - x_1 - x_6 - x_4)\} = \{(A_1, 5), (A_6, 12), (A_4, 9), (A_7, 23)\}$$

根据以上求解过程可以归纳出以下算法步骤 $(\Pi \neq \varnothing)$.

算法步骤

1) $s = 1, \Lambda = \varnothing$, Λ 表示供应点的集合; $F = \varnothing$, F 表示 Λ 相应的下标集

2) 如果 $s > p$, 转 5); 否则转 3)

3) 如果 $\sum_{i \leq s} y_i \leq \sum_{i \in F} x_i$, $s = s + 1$, 转 2); 否则转 4)

4) 确定到达时间不大于 T_s 除 Λ 之外的所有供应点序列, 并且确定该序列关于 $\sum_{i=1}^{s} y_i - \sum_{i \in F} x_i$ 的有效供应点集 Λ_s, 及对应下标集合 F_s(Λ_s 一定能够得到, 因为如果不存在有效供应点集 Λ_s, 则时刻 T_s 会出现供不应求, 与 $\Pi \neq \varnothing$ 矛盾), $\Lambda = \Lambda \cup \Lambda_s$, $F = F \cup F_s$, $s = s + 1$, 转 2)

5) 把 Λ 中的供应点按照进入该集合的时间顺序排成一序列, 不妨设得到$A_{i_1}, A_{i_2}, \cdots, A_{i_u}$ 由于 i_u 是最后一个入选 F 的下标, 则方案

$$\varphi = \Big\{(A_{j_1}, x_{j_1}),\ (A_{j_2}, x_{j_2}), \cdots,\ (A_{j_{k-1}}, x_{j_{k-1}}),\ \Big(A_{j_k}, x - \sum_{k=0}^{u-1} x_{j_k}\Big)\Big\}$$

由于目前还不能证明这种算法解是否是式(6) 的最优解, 本文称之为"启发式方法". 启发式解 φ 有许多良好性质

性质 1　φ 是可行的

证明　从上述求解过程可以看出, 根据方案 φ, $\forall j \in \{1, 2, \cdots, p\}$, T_j 时刻不会出现供不应求, 即式(2) 始终成立, 故 φ 是可行的

性质 2　$p = 1$ 时, φ 是式(6) 的最优解

证明　$p = 1$ 表示只有一个需求时间点 T_1, 确定到达时间不大于 T_1 的所有供应点序列, 并且确定该序列关于y_1 的有效供应点集Λ_1. 假定Λ_1 中有 r 个元素, 其相应可供应量从大到小排序, 不妨设为 $x_{j_1}, x_{j_2}, \cdots, x_{j_r}$. 由于这 r 个元素对应的可供应量是到达时间不大于 T_1 的所有供应点中最大的 r 个(定义 2), 并且满足 $\sum_{e=0}^{r-1} x_{j_e} < y_1 \leq \sum_{e=0}^{r} x_{j_e}$, 因而数目小于 r 的任何组合其供应数量一定小于 y_1, 也就是说, 任意$\varphi \in \Pi$, $N(\varphi) \geq r$, 所以 φ 是式(6) 的最优解

5　实现问题

供应链的价值活动计划(如成品生产计划) 对物资需求特别是最终原料需求具有一定的时间间隔, 需用时间及需求数量能够通过项目管理方法(如网络计划方法) 计算出来, 许多软件系统(如 MRP II、ERP) 可以实现这一功能[7,8]. 也就是说, 任何一项新增价值活动计划可以通过相应软件系统把物资的需求数量及需求时间实时反映到数据库中. 通过嵌入上述算法模型, 即可判定一项价值活动计划在现有能力下(从物资供应角度) 是否可行. 对涉及的每一种物资都运用定理 1 进行验证, 只有当对任何一种物资的供应都存在可行方案时, 价值活动计划才可行. 如果计划可行, 则根据

本文提供的算法给出每种物资的相应需求调度方案, 若不可行, 则给出一个能力不足的警告, 并提示是否增加储备中心(供应点)的物资采购或者降低这一价值活动的规模甚至取消价值活动 作者在国家大型企业梅山钢铁公司物资管理系统中初步运用了该模型的部分思想, 实践证明集成该模型具有一定的应用价值 尽管国内外关于供应链管理已有许多理论研究成果[9-12], 但是真正能应用于实践的还不多见 本文的研究成果显然具有一定的应用意义

6 结论

本文针对多点协作不间断供应问题的特点, 通过引入可行方案的定义(定义 1), 给出了可行方案存在的判定定理(定理 1), 以及可行方案的构造方法 考虑到方案可靠性及费用, 论文提出了一个最小化供应点数目的优化模型(6), 以及求取相应优化方案的启发式方法, 并且证明在一个需求时点($p = 1$)的情况下, 该启发式解是最优的 但是, 大量的数据验证发现, 所提出的"启发式解"很可能是"最优解", 因为在所研究的大量例子中, 本文的算法解和最优解始终是一致的 因此, 该算法解是否最优, 将有待进一步研究

参 考 文 献:

[1] Lancioni R A. New developments in supply chain management for the millennium [J]. Industrial Marketing Management, 2000, 29(1): 1-6

[2] Lancioni R A, Smith M F, Oliva T A. The role of the internet in supply chain management[J]. Industrial Marketing Management, 2000, 29(1): 45-56

[3] 刘春林 紧急物资调度的模型与方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2000. 22-33

[4] 刘春林, 盛昭瀚, 何建敏 基于连续消耗应急系统的多出救点选择问题[J], 管理工程学报, 1999, 13 (3): 13-16

[5] List G F. Routing and emergency-response-team siting for high-level radioactive waste shipments[J]. IEEE Transactions on engineering management, 1998, 45(2): 141-152

[6] Ball M O, Lin F L. A reliability model applied to emergency service vehicle location[J]. Operations Research, 1993, 41(1): 18-23

[7] 沈厚才, 陶 青, 陈煜波 供应链管理理论与方法[J]. 中国管理科学, 2000, 8(1): 1-9

[8] Camm J O, Horman T E, Dill F A, et al. Blending OR/MS, judgement, and GIS: restructuring P&G' supply chain[J]. Interfaces, 1997, 27(1): 128-142

[9] 王一凡, 陈志祥, 蒋红梅 中国企业供应链管理现状调查分析[J]. 管理科学学报, 1998, 1(3): 83-88

[10] 胡晚霞, 仲伟俊, 殷 非 物料供应决策及其支持[J]. 决策与决策支持系统, 1997, 7(4): 79-86

[11] Lee H L, Billington C. The evolution of supply chain management models and practice at Hewlett-packard[J]. Interfaces, 1995, 25(5): 42-63

[12] 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

Study of collaboration-supply in supply chain

LIU Chun-lin[1], *HE Jian-min*[2], *SHI Jian-jun*[1]

1. Business School, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Economic Management School, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: When the quantity of requirements by an activity in a supply chain is too large, a sole depot usually can not provide all the requirements, and it is much practical for introducing multiple

(下转第 82 页)

Empirical study on core competence of China's enterprises

WANG Yi
School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: What's the current state of core competence of China's enterprises? Is it the source of sustainable competitive advantage? These are key issues that both the academics and practitioners pay attention to. Based on the definition of core competence, a measurement system of core competence is provided. Then a questionnaire survey was organized. Forty one qualified responded questionnaires from 33 firms are received. The statistic analysis based these questionnaire shows that core competence is the source of sustainable advantages. Profitability and growth of a firm depend on its core competence. China's enterprises have experienced the strategic core competence and organizational core competence based competition. In the next stage, they would compete based on technological core competence.

Key words: core competence; empiric study; China's enterprises

---

(上接第33页)

depots to meet the needs. According to the characteristics of the material requirement of supply chain systems, this paper presents a multi-depot supply model. By introducing the definition of feasible scheme, we present a theorem to determine whether there is a feasible scheme, and the corresponding method to obtain a feasible scheme. However a feasible scheme may include so many depots that sometimes it is unpractical. From the point view of reliability and cost, a scheme with fewer depots is preferred. As for example, in an inventory system, the number of involved depots may directly affect the total set up cost. Therefore, as far as the reliability and cost are concerned, this paper presents a corresponding heuristic method. Finally, integrating the model in software systems is briefly discussed.

Key words: supply chain; feasible scheme; collaboration