

# 物流系统柔性的研究

许志端

(厦门大学管理学院)

**摘要:** 以配送和营销渠道中物流系统的柔性作为研究对象, 提出物流系统柔性的概念框架, 引入面向客户的物流可靠性作为物流绩效衡量指标, 建立相应的绩效度量模型, 考察物流系统柔性可能的效益。

**关键词:** 物流系统; 柔性; 物流可靠性

**中图分类号:** F253.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-884X(2005)04-0441-05

## Research on the Flexibility in Logistic Systems

Xu Zhiduan

(Xiamen University, Xiamen, China)

**Abstract:** In this paper, the flexibility in logistic systems of distribution and marketing channels was studied. The concept framework of the flexibility in logistic systems was presented. Customer-oriented Logistics dependability was introduced and taken as a logistics performance measure. A model for evaluating the logistics dependability was also set up to examine the potential benefits of the flexibility in logistic systems.

**Key words:** logistic systems; flexibility; logistics dependability

变化和不确定性是基于配送和营销渠道的物流系统的基本特征, 而快速响应则是物流系统的主要目标。由于基于时间策略的需要, 供应商采取各种办法来提高服务水平, 却因此大大增加了物流成本。物流系统的柔性可看成是改善效率的一种资源, 它能在变化的条件下有效地保证稳定的系统绩效。因此, 提高物流系统柔性是增强系统对变化的响应性的一种战略, 然而目前这方面的研究还很有限。本文以配送和营销渠道中物流系统的柔性作为研究对象, 提出物流系统柔性的概念框架, 建立相应的绩效度量模型, 考察可能的效益。

## 1 物流系统柔性的概念

### 1.1 物流系统中的不确定性

为了分析和说明物流系统中的不确定性的类型, 我们首先构建一个物流系统的模型, 如图1所示。在图1中, 节点A、B、C为邻近的、需求相似的、相同层级的仓库(即需求点), 节点O为

它们共同的配送中心(即供应源), 假定仓库之间可互相调拨并实时共享各仓库状态信息。例如维修配件仓库, 配件可在相似的维修店之间调拨, 以提高系统对缺货的响应。

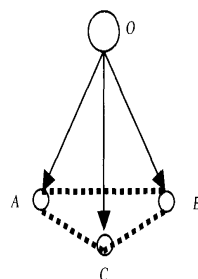


图1 物流系统示意图

(1) 产品品种及数量的变化 随着技术的进步和市场需求向多样化、多元化方向发展, 促使企业的研发能力大大增强, 产品的寿命周期大大缩短, 产品品种日益增加且不断更新, 产品的质地、形状、重量与体积等千变万化, 再加上

不同产品品种的组合以及所需产品数量的变化,这就涉及到对可供调配的装运工具的适应性和多样性要求。

(2) 需求时间的变化 由于不同节点企业之间需求预测的偏差、客户购买力的波动及其心理和个性特征等,对需求时间的要求也是千差万别的,为了提升客户服务水平,保证客户满意度,如何做到在尽量不增加库存成本的同时不发生缺货,这就需要有灵活的配送方式与交货策略。

(3) 需求地点的变化 由于需求点常分布于不同地域,供应点到需求点之间、不同需求点之间的配送渠道或运输路线及其数量的不同和变化,直接影响着对不确定性需求的响应速度和响应成本。例如,在图1中,供应点 $O$ 至需求点 $A$ 之间的渠道因天气、泥石流等客观原因或航班调整、修路等主观原因导致中断,那么是否还有别的路线?其它需求点 $B$ 、 $C$ 在满足自身需求的情况下能否对 $A$ 进行供应?等等,这涉及到物流系统的网络是否具有足够的灵活性。

## 1.2 物流系统柔性的定义

物流系统柔性是指在上述内外部条件变化的情况下,以合理的成本水平采用合适的运输方式在合适的时间和地点收集和配送合适的产品或资源以及服务,以满足顾客或合作伙伴需要的应变能力。

根据上述对物流系统中不确定性因素的分析,物流系统的柔性至少应包含以下几种能力:产品品种及其组合的调整能力、既定配送方式调整能力、既定配送计划变更能力、协同配送能力、配送策略变更能力等。

## 2 物流系统柔性的类型及度量

近年来关于柔性的研究文章增加得非常快,绝大多数都是关于制造系统柔性的,这正说明了柔性这一概念的复杂性和重要性。尽管如此,目前对于柔性的定义、分类和度量等基本的柔性分类工具均难以达成共识,对物流系统柔性及其度量的研究更少。

本文基于以下原则提出物流系统中柔性的类型及度量:

(1) 与制造系统中的分类相似<sup>[1-3]</sup>,进行自底向上的分类,可分为基础的、系统的和综合的柔性类型。

(2) 柔性的度量有范围维度和响应维度<sup>[4]</sup>。范围维度衡量的是可获得的备选方案的多样化,以保证系统的适应性而使之能继续运行,该

维度与系统的有效性相关,可通过备选方案的数量来衡量;而响应维度衡量的则是系统适应的容易性,即为满足对变化的响应,系统为适应变化所需的反应时间或成本,该维度与系统的效率相关。

(3) 物流系统的决策是一种多阶段决策,依据序贯决策中柔性的定义<sup>[5]</sup>,柔性的决策能根据未来条件的变化进行修正,即决策是在紧要实施行动的时刻最近并获得最多信息时进行。

### 2.1 物流系统中的基础柔性

与制造系统中的基础柔性类型相对应,物流系统中基础柔性主要与物理资源有关,即建立在供应与需求关系的框架之下,产品满足最终客户需求多样化能力的产品柔性以及运输设备装运多样化产品能力的运输工具柔性。两者均可在范围维度上度量,即产品品种及其组合的数量和运输设备装运功能的多样性。物流系统中的基础柔性处理的是客户对产品品种及数量的需求不确定性。

### 2.2 物流系统中的系统柔性

物流系统中的系统柔性是在现有的物流系统网络的基础上,融合基础柔性,包括既定配送方式调整能力、既定配送计划变更能力、协同配送能力、配送策略变更能力等,以对变化、中断进行快速响应。与制造系统中的系统柔性相似,这种柔性类型支持战术层决策。

系统柔性的类型较复杂,本文只分析和研究其中较为直观和简单的一种,即运输-路线柔性,它将基础柔性、配送渠道的变化和决策柔性的原理整合起来。在刚性的决策方式中,若要增加库存的服务水平,那么在补货周期开始就要设置;而运输-路线柔性允许以灵活的方式增加服务水平,即在线监控库存,一旦发生缺货,就可依据最新信息从其它附近的、相同层级的仓库调拨补充,这些最新信息关注的是缺货的发生、附近仓库能满足需求的供应能力等。运输-路线柔性的响应维度可用从一个仓库向另一个相同层级仓库调拨库存所需的时间或成本来度量,而连接相同层级仓库之间的所有运输线路的数目则可度量其范围维度。

### 2.3 物流系统中的综合柔性

综合柔性类型考虑的是物流系统的长期决策问题,如物流系统的网络设计。一般地,柔性的设计应关注在物流仓储区域的数量及地点、运输工具和运输网络的类型和能力等易于改变的可能性。

### 3 物流系统柔性的绩效模型

以往物流系统中常规的物流绩效衡量方式是面向成本的,而本文的主要目的是强调并展示物流系统柔性的重要性,因此,我们将以面向客户满意度而非成本效益来建立物流系统柔性的绩效模型。为简化问题,我们只选择运输-路线柔性这一系统柔性类型进行建模并考察,引入物流可靠性这一衡量方法,物流可靠性可被定义为:在给定的初始条件和库存策略下,在一个补充周期结束时没有发生供应短缺的概率,即由于运输-路线柔性的作用,减少了一个补充周期中的供应不确定性,达到快速响应交货。物流可靠性对那些非赢利组织(包括军事系统)应该是特别合适的。

#### 3.1 模型的假定与相关符号

(1) 模型的假定 本文只考虑单项物品的模型。该模型针对的是类似图 1 所示的、具有运输-路线柔性的物流系统,即有若干个邻近的、需求相似的、相同层级的最终客户,它们有一个共同的、更高级别的配送中心,客户之间实时共享各自库存水平信息且有相互连接的运输路线,若某个客户在补充周期内发生缺货则可从有连接的另一个客户中调拨,这种调拨要满足以下条件:从某个最终客户中调拨库存只能在该客户先满足自身需求并拥有额外库存时进行,在提前期内或补充周期结束时缺货才执行;这样一个拥有额外库存的最终客户只能向另一个缺货的客户转移库存;缺货的客户和执行了库存转移的客户能在下一周期从更高级别的供应商中得到补充。

(2) 相关符号 对于每个相同层级上最终客户  $i, i = 1, 2, \dots, N$ , 库存策略是  $\{S_i, T\}$ , 每隔  $T$  时间就按计划将库存水平补充到  $S_i$ , 补充周期为  $T, T$  是固定的,由  $L$  个相同的时间段组成。 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$  是一组随机变量,表示最终客户  $i$  在每个时间段内的需求,变量是独立同分布的,具有期望值  $\mu$  和方差  $\sigma^2$ , 因此对于  $i = 1, 2, \dots, N, S_i = S$ 。  $X^{(k)}$  表示  $k$  时间内某个客户的累积需求的随机变量,  $k = 1, 2, \dots, L, i = 1, 2, \dots, N$ , 并具有分布函数  $\Phi(x)$ 。对任一客户给定补充周期开始时的库存水平  $S_\alpha(L)$ , 其给定的服务水平为  $1 - \alpha$  即

$$P[X^{(L)} \leq S_\alpha(L)] = 1 - \alpha, \quad (1)$$

$\Phi(S_\alpha(L)) = 1 - \alpha$  也可表示为  $S_\alpha(L) = \Phi^{-1}(1 - \alpha)$ , 其中  $\Phi^{-1}(\cdot)$  为  $\Phi(x)$  的倒数。从下订单到从更高供应级别处收货的时间为提前

期,记为  $\tau$ , 是固定的,且  $\tau < L$ , 当补充订单下达时,提前期内的需求是已知的。

#### 3.2 物流系统的变化

我们设定物流系统在一个补充周期内面临着以下两种类型的变化<sup>[6]</sup>:

(1) 在补充周期内需求发生变化 为了衡量需求变化的影响,我们使用变化系数  $CV$ , 假定需求变化不影响期望值,只影响方差,因此  $CV$  的变化可表示为方差变化的比率:

$$(CV)_1 / (CV)_0 = (\sigma_1^2 / \mu^2) / (\sigma_0^2 / \mu^2) = \sigma_1^2 / \sigma_0^2, \sigma_1 > \sigma_0,$$

式中,  $\sigma_0$  和  $\sigma_1$  分别为需求变化前后的方差,也可以用服务水平从  $1 - \alpha$  减少为  $1 - \alpha'$  来表示。

设  $X_i^{(k)}$  为需求变化后在  $k$  时段内的累积需求的随机变量,  $k = 1, 2, \dots, L$ , 并具有分布函数  $\Phi_{k1}(x)$ 。随着每个时段需求方差的增加,即  $\sigma_1 > \sigma_0$ ,  $k$  时段内的累积需求的方差  $V(X_i^{(k)})$  也随之增加,即  $V(X_i^{(k)}) > V(X_i^{(k)})$ ,  $k = 1, 2, \dots, L$ 。因此,用于满足具有方差  $V(X_i^{(k)})$ 、需求概率分布为  $\Phi(x)$  的库存水平  $S_\alpha(L)$  所提供的服务水平将从  $1 - \alpha$  降为  $1 - \alpha'$ , 亦即具有更高方差的分布函数  $\Phi_{k1}(x)$  就有更高的缺货风险。这一更高缺货风险的概率  $\alpha'$  可以用给定分布函数来计算:

$$\alpha' = 1 - \Phi_{k1}(S_\alpha(L)) < 1 - \Phi(S_\alpha(L)) = \alpha. \quad (2)$$

(2) 在补充的过程中与中断有关的变化 由于各种原因使得补充过程中断,造成更新库存的货物到达延迟了  $\Delta\tau$  时间,使得补充周期也由  $L$  加长到  $L + \Delta\tau$ , 假定这一事件发生的概率为  $p, 0 < p < 1$ 。可以用风险水平的增加来衡量这种变化,亦即由于补充周期延长,使得服务水平从  $1 - \alpha$  减少为  $1 - \alpha'$ , 可表示为

$$\alpha' = 1 - \Phi(S_\alpha(L)) < 1 - \Phi_{+\Delta\tau}(S_\alpha(L)) = \alpha. \quad (3)$$

#### 3.3 柔性的度量

运输-路线柔性可以从两个方面进行度量:响应维度和范围维度。在响应维度上,可以用在同一层级上两个客户之间库存转移所需的时间来度量,为简化起见,假定同一层级上两个客户之间库存转移所需的时间可以忽略,即在响应维度上具有最大柔性。而在范围维度上,可以用连接同一层级上每个客户的所有运输线路的数量  $u$  来度量,  $u = 0, 1, \dots, N - 1$ 。在刚性系统中,  $u = 0$ ; 在同一层级上具有  $N$  个客户的柔性系统中,最大的运输-路线柔性为  $u = N - 1$ , 即同一层级上的所有客户均相互连接。图 2 显示了一个拥有 5 个同级客户的物流系统所分别具有的不同运输-路线柔性级别。

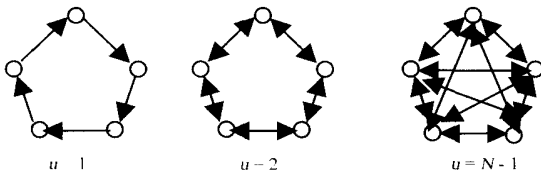


图 2 具有不同运输 - 路线柔性级别的物流系统

3.4 物流系统柔性的绩效度量: 物流可靠性

为了度量一个物流系统在补充周期内防范缺货的能力, 本文引入了物流可靠性。根据有关文献对可靠性所做的定义<sup>[7]</sup>, 物流可靠性是一个概率值, 可表示为如下等式:

$$D_L = P_r + (1 - P_r)P_s(u)$$

式中,  $D_L$  为物流可靠性;  $P_r$  为所有同层级客户在一补充周期内需求没有超过当前库存的概率;  $P_s(u)$  为在给定运输 - 路线柔性  $u$  的情况下克服缺货的概率,  $u = 0, 1, \dots, N - 1$ 。实际上从上述等式可以看出,  $D_L$  的值是随着  $P_s(u)$  的值增加而增加, 即物流系统的可靠性(不缺货的可能性)是与在给定运输 - 路线柔性  $u$  的情况下克服缺货的概率成正比。

(1) 一个补充周期的初始条件  $1 - \alpha$ (服务水平); 补充周期( $L_0$ ); 提前期( $\tau_0$ ); 需求变化( $CV_0$ ); 具有运输 - 路线柔性( $u$ )。

(2) 一个补充周期中可能的变化 每个时段需求变化增加 [ $(CV)_1 > (CV)_0$ ]; 补充活动的中断使得提前期和补充周期均增加  $\Delta\tau$  时间。

为了便于比较, 以上变化均用服务水平的减少(即  $\Delta\alpha$ ) 来衡量。

(3) 计算物流可靠性 在具有柔性的物流系统中, 短缺可以通过同一层级的库存调拨来克服。在一个补充周期  $L$  中每个  $k$  时段( $k = 0, 1, 2, \dots, L$ ), 可以计算出缺货的概率和成功调拨的概率。

设  $G_k$  为  $k$  时段内某一客户不缺货的概率,  $\alpha$  为该客户在  $k$  时段内首次缺货的概率, 则

$$G_k = P[X^{(k)} \leq S], k = 0, 1, 2, \dots, L, \quad G_0 = 1, G_L = 1 - \alpha \quad (4)$$

因此,

$$\alpha = P[X^{(k)} > S] - P[X^{(k-1)} > S]$$

由此可得

$$\alpha = G_{k-1} - G_k, k = 1, 2, \dots, L \quad (5)$$

由定义可知

$$\sum_{k=1}^L \alpha = \alpha \quad (6)$$

设  $H_k$  为  $k$  时段结束时库存成功转移的概率, 可表示为

$$H_k = P\{X^{(k)} \leq S - 2Y(k)\} \quad (7)$$

式中,  $Y(k) = Q_{\min}^1(\tau_L - k)(1 - \alpha)$ 。

这里定义的一次成功的库存转移意味着: 作为供应商的最终客户的当前库存能以  $1 - \alpha$  的概率来满足自己的需求, 同时满足在补充周期结束或补货到达前(以先发生的为主)缺货的客户的那部分需求。假定在同一补充周期中缺货的客户只发生一次缺货。

(i) 模型 1  $N = 2$ (只有两个最终客户且在补充周期内没有发生变化)

在一个补充周期中可能出现以下 3 种情形: 没有库存短缺, 概率为  $(1 - \alpha)^2$ ; 一个客户缺货, 概率为  $2\alpha(1 - \alpha)$ ; 两个客户缺货, 概率为  $\alpha^2$ 。

对于  $u = 0$ , 有

$$D_L = (1 - \alpha)^2 \quad (8)$$

对于  $u = 1$ , 当两个客户中的任一个客户发生缺货时, 另一个客户就要有足够的库存来充当临时的供应商, 此时就会完成一次成功的库存转移, 这会在一个周期中  $L$  个时段内的任何时刻发生, 设在时段  $k$  内发生, 其概率为  $2\alpha H_k$ , 因此有

$$D_L = (1 - \alpha)^2 + 2 \sum_{k=1}^L \alpha H_k \quad (9)$$

(ii) 模型 2  $N = 2$ (有  $N$  个最终客户且在补充周期内有发生变化)

(a) 没有变化 与模型 1 相同, 物流可靠性由以下两部分概率组成: 任何客户都没有库存短缺的概率; 在一个周期中  $L$  个时段内的任一时刻  $N$  个位置中任一个客户缺货但能进行成功库存转移的概率。

对于  $u = N - 1$ , 可得到

$$D_L = (1 - \alpha)^N + N \sum_{k=1}^L \alpha [(G_k)^{N-1} - (G_k - H_k)^{N-1}] \quad (10)$$

式中, 方括号中的表达式表示其它  $N - 1$  个客户中至少有一个客户能成功执行库存转移的概率;  $(G_k - H_k)^{N-1}$  是在缺货时其它  $N - 1$  个客户中没有一个客户能成功执行库存转移的概率。

(b) 发生两种类型的变化 第 1 种变化: 需求变化增加。这种变化意味着每个时段的需求变量  $X$  的方差增大, 因此时段  $k$  内的需求变量  $X^{(k)}$  的增加将导致服务水平  $1 - \alpha$  下降[见式(2)]。与需求相关的其它事件的概率, 如  $G_k$  和  $H_k$  也会随之下降。式(10)不会发生改变, 只是在相同初始条件下所计算的可靠性会更低。

第 2 种变化: 补充活动中断。如前所述, 这种中断将会使提前期增加  $\Delta\tau$  时间, 同样补充周期和风险也将增加, 风险将从  $\alpha$  增加到  $\alpha_0$ 。假定这

一事件发生的概率为  $p$ , 则式(10) 将变为

$$D_L = (1 - p) \left\{ (1 - \alpha)^N + N \sum_{k=1}^L \alpha_k [(G_k)^{N-1} - (G_k - H_k)^{N-1}] \right\} + p \left\{ (1 - \alpha)^N + N \sum_{k=1}^{L+\tau} \alpha_k [(G_k)^{N-1} - (G_k - H_k)^{N-1}] \right\} \quad (11)$$

### 3.5 一个简单实例

考察不同系统规模  $N$  ( $N = 3, 4, 5, 6$ ) 的运输-路线柔性的绩效, 分别考虑没有发生变化和发生第一种变化这两种情形。假定每个时段(小时) 每个客户的需求服从正态分布, 均值  $\mu = 100$ ,  $\sigma = 0.25\mu$ , 服务水平为  $1 - \alpha = 0.90$ , 周期  $L = 24h$ , 提前期  $\tau = 3h$ 。

图3所示的是4种规模的系统在没有发生变化的情形, 每个客户只有一条运输路线的刚性系统和每个客户都有最多运输路线(即  $N - 1$ ) 的柔性系统之间进行比较, 可以看到后者的物流可靠性得到了很大的提高。

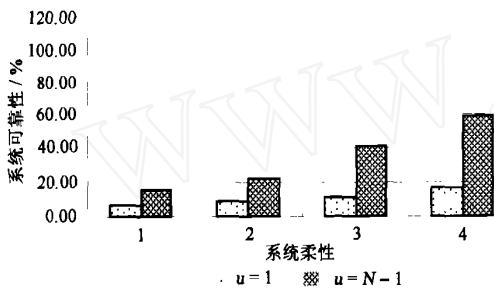


图3 物流可靠性改善(没有发生变化)

图4所示的是4种规模的系统发生第1种变化的情形, 方差由  $\sigma = 0.25\mu$  增加为  $\sigma = 0.30\mu$ , 由此每个客户的缺货风险  $\alpha$  也从 0.10 增加到 0.143。

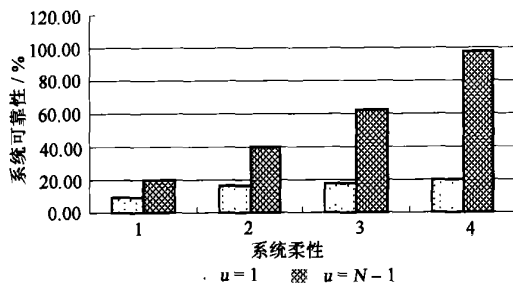


图4 物流可靠性改善(发生第1种变化)

从图3和图4可得出以下结论:

(1) 当没有发生变化时, 运输-路线柔性提高了物流系统的可靠性, 而且提高的比例随着系统规模的扩大而增加。

(2) 当需求发生变化时, 柔性的价值, 亦即

物流系统可靠性提高的比例将更高, 而且随着系统规模的扩大, 比例提高的幅度均在 20% 以上。

由此可见, 具有柔性的物流系统能改善系统的可靠性, 即提高了在补充周期内应对需求变化的防范缺货的能力, 从而增强了系统对变化的响应性。

## 4 结语

柔性, 作为有效地处理环境变化和由环境引起的不确定性的能力, 已逐渐演化成决定现代企业竞争力的一个重要因素。与对制造系统柔性的广泛研究相比, 物流系统柔性的研究明显不足。从本文的研究可以看出, 仅增强运输-路线柔性, 就可以大幅度改善物流系统的可靠性, 进而提高客户满意度。因此, 物流系统柔性是一个值得关注并进行深入研究的课题。

## 参考文献

- [1] Benjaafar S, Ramakrishnan R. Modelling, Measurement and Evaluation of Sequencing Flexibility in Manufacturing Systems[J]. International Journal of Production Research, 1996, 34 (5): 1195~ 1220
- [2] D'Souza D E, Williams F P. Towards a Taxonomy of Manufacturing Flexibility Dimensions[J]. Journal of Operations Management, 2000, 18: 577~ 593
- [3] Sethi A K, Sethi S P. Flexibility in Manufacturing: A Survey[J]. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 1990, 2: 289~ 328
- [4] Upton D M. The Management of Manufacturing Flexibility [J]. California Management Review, 1994, 36: 72~ 89
- [5] Mandelbaum M, Buzacott J. Flexibility and Decision Making [J]. European Journal of Operational Research, 1990, 44: 17~ 27
- [6] Barad M. Flexibility Performance Measurement Systems-a Framework for Design [A]. In: Proceedings of the First International Conference on Performance Measurement[C]. Centre for Business Performance, University of Cambridge, U.K., 1998: 78~ 85
- [7] Blanchard B S. Logistics Engineering and Management[M]. New York: Prentice-Hall, 1974

作者简介: 许志端(1966~), 女, 汉族, 福建德化人。厦门大学(福建省厦门市 361005)管理学院MBA 中心教授, 博士。研究方向为企业运作管理、信息管理。