

动态供应链网络的 H_∞ 控制^①

徐君群

(天津大学系统工程研究所, 天津 300072)

摘要: 牛鞭效应的抑制与消除问题是供应链管理的重要课题. 针对具有多个生产商和分销商的供应链网络, 建立具有需求不确定性的闭环供应链网络动态模型, 利用鲁棒 H_∞ 控制策略和线性矩阵不等式方法, 处理供应链网络的鲁棒运作问题. 通过设计依赖于库存状态的反馈控制器, 抑制闭环供应链网络中不确定性的影响, 使得闭环供应链网络系统运作达到理想的总成本. 最后, 通过仿真计算验证所提出方法的有效性.

关键词: 供应链网络; 不确定性; 牛鞭效应; H_∞ 控制; 线性矩阵不等式

中图分类号: F253.4; F224.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2012)09-0058-06

0 引言

供应链管理的关键是链上各企业的协调与合作, 以便提高整个供应链的效率. 其中库存协调是供应链协调与合作的重要组成部分^[1-4]. 在需求不确定的环境中, 需求的波动在经过库存管理策略的变换后, 通常会发生改变. 上游需求的方差可能大于下游需求的方差, 这种需求方差逐渐放大的现象被称为牛鞭效应. 抑制与消除牛鞭效应的问题一直是供应链管理理论的重要课题^[5-8]. 黄小原和卢震^[9]研究了具有多个分销中心的供应链结构模型, 采用 H_∞ 控制策略抑制牛鞭效应. 晏妮娜和黄小原^[10]建立了电子市场环境下的双源渠道的库存控制模型, 分析了牛鞭效应的控制机理. 邢镇和陈嘉^[11]用物流网络化方法来弱化牛鞭效应的信息变异幅度, 从而减小其对整个供应链正常高效运作的不良影响. 这些文献主要集中在对单个供应链系统的研究. 随着大型跨国公司的出现以及新型物流技术不断发展, 越来越多的组织被描述成网络. Lin 和 Shaw^[12]首次提出了供应链

网络的概念, 认为供应商、制造商和分销商在战略、任务、资源和能力方面相互依赖, 构成了较复杂的供应—生产—销售网, 即供应链网络. Zhang 等^[13]认为供应链网络是由相互合作的企业实体共同作用, 对一种或多种产品进行采购、生产、分销、消费等一系列相关活动所组成的网络. 他们的研究所涉及的供应链结构其实是网链结构, 而真正意义上的“供应链网络”应该包括不同单链式供应链企业的跨链间协调和合作, 也就是要涉及两个及以上的供应链的协调管理. 本文针对多个生产商和经销商构成的供应链网络, 在外部需求不确定的条件下, 采用 H_∞ 控制策略和线性矩阵不等式方法对闭环供应链网络的鲁棒运作问题进行研究.

1 模型描述

考虑由 p 个生产商和 q 个分销商所构成的动态供应链网络, 其动力学方程描述为

① 收稿日期: 2012-01-04; 修订日期: 2012-06-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61004015).

作者简介: 徐君群(1983—), 男, 浙江金华人, 博士生. Email: xujunqun@tju.edu.cn

$$\begin{cases} x_i(k+1) = x_i(k) + u_i(k) - \sum_{j=1}^q d_{ij} O_{ij}(k), \\ i = 1, 2, \dots, p \\ y_i(k+1) = y_i(k) + \sum_{j=1}^p d_{ji} O_{ji}(k) - w_i(k), \\ i = 1, 2, \dots, q \end{cases} \quad (1)$$

式中: $x_i(k)$ 是第 i 个生产商在 k 时刻的库存, 为状态变量; $y_i(k)$ 是第 i 个分销商在 k 时刻的库存, 为状态变量; $u_i(k)$ 是第 i 个生产商在 k 时刻的生产量, 为控制变量; $O_{ij}(k)$ 是 k 时刻第 j 个分销商向第 i 个生产商的订货量, 为控制变量; $w_i(k)$ 是第 i 个分销商 k 时刻的顾客需求, 为外部输入不确定变量. d_{ij} 表示整个供应链网络的结构, 若第 j 个分销商选择向第 i 个生产商订货, 则 $d_{ij} = 1$, 否则 $d_{ij} = 0$.

整个供应链网络的运作成本为

$$z(k) = c_h \left[\sum_{i=1}^p x_i(k) + \sum_{i=1}^q y_i(k) \right] + c_o \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q O_{ij}(k) + c_m \sum_{i=1}^p u_i(k) \quad (2)$$

其中 $z(k)$ 表示 k 时刻供应链网络的运作成本, 为输出变量; c_h , c_o 和 c_m 分别表示库存成本, 订货成本和生产成本, 均为常数.

可以将式 (1) 和 (2) 写成如下矩阵形式

$$\begin{cases} X(k+1) = X(k) + AU(k) + BW(k) \\ z(k) = EX(k) + FU(k) \end{cases} \quad (3)$$

式中

$$\begin{aligned} X(k) &= [x_1(k) \ x_2(k) \ \dots \ x_p(k), \\ &\quad y_1(k) \ y_2(k) \ \dots \ y_q(k)]^T; \\ U(k) &= [u(k) \ \rho_1(k) \ \rho_2(k) \ \dots \ \rho_p(k)]^T; \\ u(k) &= [u_1(k) \ u_2(k) \ \dots \ u_p(k)]^T; \\ O_i(k) &= [O_{i1}(k) \ O_{i2}(k) \ \dots \ O_{iq}(k)]^T, \\ &\quad i = 1, 2, \dots, p \\ W(k) &= [w_1(k) \ w_2(k) \ \dots \ w_q(k)]^T; \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} I & -D \\ \mathbf{0} & \tilde{D} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -I \end{bmatrix};$$

$$E = \begin{bmatrix} c_h & c_h & \dots & c_h \end{bmatrix};$$

$$F = \begin{bmatrix} c_m & c_m & \dots & c_m & \overbrace{c_o \ c_o \ \dots \ c_o}^{p+q} \end{bmatrix}$$

矩阵 A, B 中: $\mathbf{0}$ 表示适当维数的零矩阵; I 表示适

当维数的单位矩阵; $D = \begin{bmatrix} d_{11} & & & \\ & d_{22} & & \\ & & \ddots & \\ & & & d_{pp} \end{bmatrix};$

$$\tilde{D} = [\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_p]; \quad d_i = [d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iq}],$$

$$\tilde{d}_i = \begin{bmatrix} d_{i1} & & & \\ & d_{i2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & d_{iq} \end{bmatrix}.$$

针对不确定性因素, 如大量突发性订货、交货期突然延期、临时用量增加、交货误期等特殊状况, 需要制定安全的库存水平, 以降低缺货的可能性. 假定生产商和销售商的安全库存分别为 \bar{x}_i 和 \bar{y}_i , 记

$$\bar{X} = [\bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ \dots \ \bar{x}_p \ \bar{y}_1 \ \bar{y}_2 \ \dots \ \bar{y}_q]^T$$

令 $\tilde{X}(k) = X(k) - \bar{X}$. $\tilde{X}(k)$ 反映了 k 时刻供应链网络实际库存与安全库存的偏差. 结合系统 (3), 得到如下的偏差网络

$$\begin{cases} \tilde{X}(k+1) = \tilde{X}(k) + AU(k) + BW(k) \\ z(k) = EX(k) + FU(k) \end{cases} \quad (4)$$

无论是生产商的生产策略, 或是分销商的订货策略, 通常是依据自身的实际库存和安全库存来制定的. 因此, 采用依赖于库存的线性反馈控制器为

$$U(k) = G\tilde{X}(k) \quad (5)$$

偏差网络 (4) 在控制律 (5) 的作用下, 相应的闭环网络系统为

$$\begin{cases} \tilde{X}(k+1) = (I + AG)\tilde{X}(k) + BW(k) \\ z(k) = (E + FG)\tilde{X}(k) \end{cases} \quad (6)$$

2 鲁棒 H_∞ 控制

如何在外部需求不确定的情况下, 得到一个闭环供应链网络稳定的生产控制, 这就需要系统的鲁棒 H_∞ 控制方法. 鲁棒 H_∞ 控制的管理意义是通过实际库存 $X(k)$ 制定生产控制 $U(k)$, 以抑制闭环供应链网络外部输入的不确定性扰动, 使闭

环供应链网络运作总成本达到较为理想的水平. 闭环供应链控制网络对于上述扰动的抑制程度可用 γ 描述, 即 $\|z\|_2 / \|W\|_2 \leq \gamma$, γ 越小系统的性能越好. $\|z\|_2 / \|W\|_2$ 则描述了供应链网络的输出能量与外部输入能量之比的增益, 相当于闭环供应链从需求 $W(k)$ 到输出成本 $z(k)$ 产生的牛鞭效应, 即外部输入需求 $W(k)$ 的波动放大效应传导到输出成本 $z(k)$ 时的增益, 鲁棒 H_∞ 控制的目的是使 $\|z\|_2 / \|W\|_2$ 达到最小. 应用闭环供应链鲁棒 $\|z\|_2 / \|W\|_2$ 控制策略, 得到系统在外输入最坏条件下的生产控制 $U(k)$, 抑制牛鞭效应, 并且使闭环供应链网络运作成本达到相对小的结果.

为实现闭环系统的 H_∞ 控制, 需要满足以下条件: 1) 闭环系统是二次稳定的; 2) 给定正常数 γ 在零初始条件下, 对任意的扰动 $W(k)$ 均满足 H_∞ 范数约束条件

$$\|z(k)\|_2 \leq \gamma \|\tilde{X}(k)\|_2$$

其中 $\|\cdot\|_2$ 为标准的 $L_2[0, \infty]$ 范数.

闭环供应链网络 (6) 是外部输入不确定的离散时间线性系统. 根据文献 [14], 关于闭环供应链网络 (6) 的鲁棒 H_∞ 控制策略, 有如下结论.

定理 1 对于离散时间线性系统 (6), 给定正常数 γ , 如果存在 $P > 0$ 以及适当维数的矩阵 G , 使得下面的矩阵不等式成立, 即

$$\begin{bmatrix} -P & 0 & (E+FG)^T & (I+AG)^T \\ 0 & -\gamma^2 I & 0 & B^T \\ E+FG & 0 & -I & 0 \\ I+AG & B & 0 & -P^{-1} \end{bmatrix} < 0 \quad (7)$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} (E+FG)^T(E+FG) + (I+AG)^T P(I+AG) - P & (I+AG)^T P B^T \\ B P(I+AG) & B^T P B - \gamma^2 I \end{bmatrix}$$

对条件式 (7) 运用 Schur 补引理 [15], 可得 $\Omega < 0$, 于是 $J \leq 0$.

因此 $\|z(k)\|_2 \leq \gamma \|\tilde{X}(k)\|_2$, 即系统 (6) 是具有 H_∞ 范数界 γ 可镇定的. 证毕.

注意到定理 1 中的矩阵不等式 (7) 是非线性的, 因此不能直接解出 H_∞ 控制器, 需要将其化为线性矩阵不等式以便于求解. 为此, 在矩阵不等式 (7) 的两边同时乘以正定对角矩阵 $\text{diag}(P^{-1} I I, I)$, 并令 $\bar{P} = P^{-1} Q = GP$ 以及 $\bar{\gamma} = \gamma^2$, 可得

则系统 (6) 是具有 H_∞ 范数界 γ 可镇定的.

证明 选取如下的 Lyapunov 函数

$$V(k) = \tilde{X}^T(k) P \tilde{X}(k) \quad (8)$$

那么 Lyapunov 函数 (8) 沿着闭环系统 (6) 的差分

$$\begin{aligned} V(k) &= V(k+1) - V(k) \\ &= ((I+AG)\tilde{X}(k) + BW(k))^T \times \\ &\quad P((I+AG)\tilde{X}(k) + BW(k)) - \\ &\quad \tilde{X}^T(k) P \tilde{X}(k) \end{aligned}$$

令扰动输入 $W(k) = 0$, 则有

$$V(k) = \tilde{X}_c^T(k) \Pi \tilde{X}_c(k)$$

其中 $\Pi = (I+AG)^T P(I+AG) - P$.

当条件 (7) 成立时, 显然有

$$\begin{bmatrix} -P & (I+AG)^T \\ I+AG & -P^{-1} \end{bmatrix} < 0 \quad (9)$$

对式 (9) 运用 Schur 补引理 [15], 易知

$$V(k) \leq -\alpha \|\tilde{X}_c(k)\|^2$$

其中 $\alpha > 0$. 因此, 系统 (6) 是二次稳定的.

为了证明系统 H_∞ 范数的有界性, 引入

$$J = \sum_{k=0}^{+\infty} [z^T(k) z(k) - \gamma^2 \tilde{X}^T(k) \tilde{X}(k)]$$

在零初始条件下, 有

$$\begin{aligned} J &\leq \sum_{k=0}^{+\infty} [z^T(k) z(k) - \gamma^2 \tilde{X}^T(k) \tilde{X}(k) + V(k)] \\ &= \tilde{X}_c^T(k) \Omega \tilde{X}_c(k) \end{aligned}$$

其中

$$\begin{bmatrix} -\bar{P} & 0 & \bar{P}E^T + Q^T F^T & \bar{P} + Q^T A^T \\ 0 & -\bar{\gamma} I & 0 & B^T \\ E\bar{P} + FQ & 0 & -I & 0 \\ \bar{P} + AQ & B & 0 & -\bar{P} \end{bmatrix} < 0$$

(10)

定理 2 如果存在 $\bar{P} > 0$ 以及适当维数的矩阵 Q , 使得线性矩阵不等式 (10) 成立, 则系统 (6) 不仅

内部稳定而且具有 H_∞ 性能 γ 和相应的控制器增益 $G = Q\bar{P}^{-1}$.

需要指出的是, 采用线性矩阵不等式方法求解鲁棒 H_∞ 控制策略的过程, 实际上是一个寻优过程, 即求解如下的优化问题

$$\begin{aligned} & \min_{\bar{P} > 0} \gamma \\ & \text{s. t.} \\ & \begin{bmatrix} -\bar{P} & 0 & \bar{P}E^T + Q^T F^T & \bar{P} + Q^T A^T \\ 0 & -\gamma I & 0 & B^T \\ \bar{E}P + FQ & 0 & -I & 0 \\ \bar{P} + AQ & B & 0 & -\bar{P} \end{bmatrix} < 0 \end{aligned} \quad (11)$$

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

$$E = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1], F = [4 \ 4 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2]$$

设定 $\gamma = 0.35$ 运用 Matlab 的 LMI 工具箱对不等式(10) 进行求解 得到控制器增益为

$$G = \begin{bmatrix} 0.326 \ 0 & 0.126 \ 0 & -0.043 \ 5 & -0.043 \ 5 & -0.043 \ 5 & 0 \\ 0.126 \ 0 & 0.326 \ 0 & 0 & -0.043 \ 5 & -0.043 \ 5 & -0.043 \ 5 \\ 0.134 \ 7 & 0 & 0.452 \ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.150 \ 4 & 0.049 \ 6 & 0 & 0.416 \ 0 & 0 & 0 \\ 0.150 \ 4 & 0.049 \ 6 & 0 & 0 & 0.416 \ 0 & 0 \\ 0 & 0.134 \ 7 & 0 & 0 & 0 & 0.452 \ 0 \\ 0.134 \ 7 & 0 & 0.452 \ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.049 \ 6 & 0.150 \ 4 & 0 & 0.416 \ 0 & 0 & 0 \\ 0.049 \ 6 & 0.150 \ 4 & 0 & 0 & 0.416 \ 0 & 0 \\ 0 & 0.134 \ 7 & 0 & 0 & 0 & 0.452 \ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

此时, 鲁棒控制策略为 $U(k) = G\tilde{X}(k)$.

下面对闭环供应链网络系统(6) 的鲁棒 H_∞ 控制策略进行仿真. 设初始库存为 $X(0) = (100, 90, 40, 42, 39, 41)^T$, 虚拟的安全库存为 $\bar{X} = (80, 75, 32, 33, 32, 31)^T$. 考虑外部不确定输入为高斯噪声 $w(k) \sim N(\mu, \sigma^2)$, $\mu = 30, \sigma^2 = 1$. 图1和图2 分别为闭环供应链网络库存量、生产量和订货量随时间的变化曲线. 从图中可以看出, 随着时间 k 的增加, 所采取的控制变量, 即生产量和订货量将由早期的波动较大变得非常平稳. 同时, 在控制

当对系统性能提出很高要求, 即 γ 很小时, 采用线性矩阵不等式方法很有可能无法找到可行解. 因此, 衡量系统性能的 γ 是人为设定的, 不同 γ 值所得到的控制策略也不相同. 尽管如此, LMI 方法仍然是解决此类问题的有效手段.

3 数值算例

考虑一个由 2 个生产商和 4 个分销商构成的供应链网络, 此时 $p = 2, q = 4$. 假设生产商 1 为分销商 1, 2, 3 供货, 而生产商 2 为分销商 2, 3, 4 供货. 该供应链中产品的库存成本、订货成本和生产成本分别为 $c_h = 1, c_o = 2, c_m = 4$; 则系统(6) 对应的系数矩阵为

增益(12) 的作用下, 生产商(分销商) 通过自身的实际库存调整其生产量(订货量), 使得整个供应链网络的库存随时间的演化逐渐趋于平稳. 图3 为整个供应链网络的总的运作成本随时间的变化曲线. 从图3 可以看出, 供应链网络的总的运作成本在一段时间后趋于稳定值 1 170, 即达到理想的总成本为 1 170. 因此, 所提的 H_∞ 控制方法可以有效抑制外部扰动. 这也为企业在实际运作中处理动态环境下的不确定性影响提供解决手段.

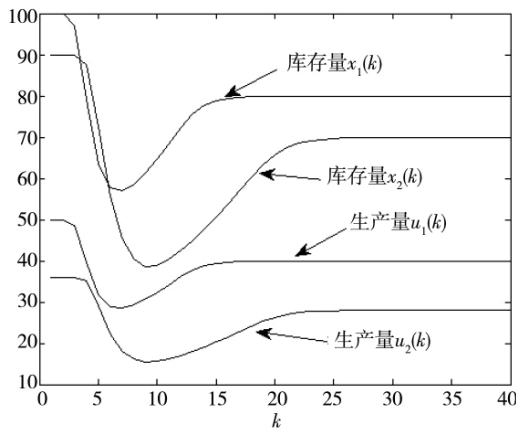


图1 生产商的库存与生产量随时间的变化曲线

Fig. 1 The trends over time of the inventory and production of the producers

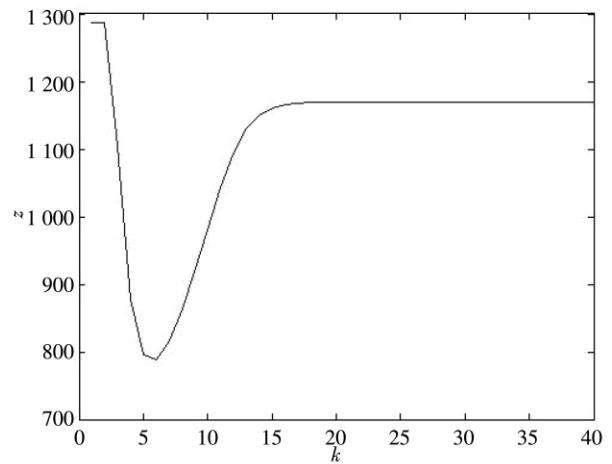


图3 整个供应链网络的运作成本 z(k) 随时间的变化曲线

Fig. 3 The trends over time of the whole cost z(k)

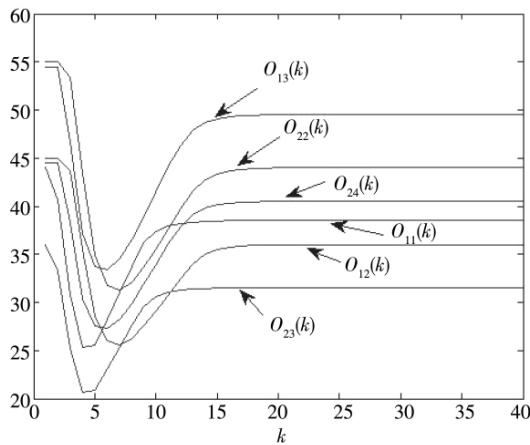


图2 分销商的订货量随时间的变化曲线

Fig. 2 The trends over time of the order quantities of the retailers

4 结束语

本文研究了外部需求不确定条件下供应链网络的运作问题,建立了多个生产商和分销商的供应链网络动态模型,基于线性矩阵不等式方法,给出了针对该模型的鲁棒 H_∞ 控制策略,从而得到系统的最优控制策略.仿真结果表明,鲁棒 H_∞ 控制策略能够抑制供应链动态模型中的诸多不确定因素的扰动,并使供应链运作达到理想总成本.而对时滞环境下多级供应链网络运作有待进一步研究.

参考文献:

[1]曹二保,赖明勇. 成本和需求同时扰动时供应链协调合约研究[J]. 管理科学学报,2010,13(7):9-15.
Cao Erbao ,Lai Mingyong. Research on coordination mechanism of supply chains when demand and cost are disrupted[J]. Journal of Management Sciences in China ,2010 ,13(7) : 9 -15. (in Chinese)

[2]葛泽慧,胡奇英. 上下游企业间的研发协作与产销竞争共存研究[J]. 管理科学学报,2010,13(4):12-22.
Ge Zehui ,Hu Qiyong. Collaborative R&D and competitive production in a supply chain[J]. Journal of Management Sciences in China ,2010 ,13(4) : 12 -22. (in Chinese)

[3]柳 键. 基于时变需求的一对一供应链库存决策研究[J]. 管理科学学报,2006,9(1):38-46.
Liu Jian. Research on inventory decision making of one-to-one supply chain based on time-varying demand[J]. Journal of Management Sciences in China ,2006 ,9(1) : 38 -46. (in Chinese)

[4]赵晓敏,黄培清. SM 两级闭环供应链系统建模与仿真研究[J]. 管理科学学报,2011,14(5):29-42.
Zhao Xiaomin ,Huang Peiqing. Modeling and simulation on a SM closed-loop supply chain system[J]. Journal of Management Sciences in China ,2011 ,14(5) : 29 -42. (in Chinese)

[5]黄小原,晏妮娜,邱若臻. 一类参数和时滞不确定的闭环供应链动态模型与鲁棒 H_∞ 控制[J]. 计算机集成制造系统,2007,13(7):1313-1321.
Huang Xiaoyuan ,Yan Nina ,Qiu Ruozhen. Dynamic models of closed-loop supply chain & robust H_∞ control strategies with time-delay & parameter uncertainty[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems ,2007 ,13(7) : 1313 -1321. (in Chi-

- nese)
- [6]刘春玲, 黎继子, 孟波. 基于两单链合作下的集群式供应链牛鞭效应的 H_∞ 控制研究[J]. 中国管理科学, 2007, 15(1): 41-46.
Liu Chunling, Li Jizi, Meng Bo. Research on H_∞ control of bullwhip in cluster supply chains based on cooperation between two single chains[J]. Chinese Journal of Management Science, 2007, 15(1): 41-46. (in Chinese)
- [7]隋鹏, 许弘雷, 韦维. 供应链牛鞭效应及其控制论方法[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2010, 27(5): 125-129.
Sui Peng, Xu Honglei, Wei Wei. Supply chain's bullwhip effects and their control theory[J]. Approach Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2010, 27(5): 125-129. (in Chinese)
- [8]侯玲, 陈东彦, 腾春贤. 集群式闭环供应链系统动态模型及牛鞭效应分析[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(4): 28-33.
Hou Ling, Chen Dongyan, Teng Chunxian. Dynamic model of cluster closed-loop supply chain system and analysis of bullwhip effect[J]. Industrial Engineering and Management, 2011, 16(4): 28-33. (in Chinese)
- [9]黄小原, 卢震. 多分销中心供应链模型及其牛鞭效应的 H_∞ 控制[J]. 中国管理科学, 2003, 11(1): 42-47.
Huang Xiaoyuan, Lu Zhen. The model with multi-distribution center and H_∞ control strategies of bullwhip effect in supply chain[J]. Chinese Journal of Management Science, 2003, 11(1): 42-47. (in Chinese)
- [10]晏妮娜, 黄小原. 电子市场环境下双源渠道模型及其牛鞭效应 H_∞ 控制[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(5): 583-586.
Yan Nina, Huang Xiaoyuan. Dual-channel model on E-market and H_∞ control strategies for its bullwhip effect[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2006, 27(5): 583-586. (in Chinese)
- [11]邢镇, 陈嘉. 基于物流网络化的供应链牛鞭效应控制研究[J]. 物流工程与管理, 2011, 33(8): 71-74.
Xing Zhen, Chen Jia. Research for controlling the bullwhip effect in supply chain based on logistics network[J]. Logistics Engineering and Management, 2011, 33(8): 71-74. (in Chinese)
- [12]Lin F R, Shaw M J. Reengineering the order fulfillment process in supply chain networks[J]. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 1998, 10(3): 197-229.
- [13]Zhang D, Dong J, Nagurney A. Innovations in Financial and Economic Networks[M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2003, 195-211.
- [14]李志虎, 王景成, 邵惠鹤. 时变不确定离散时滞系统的 H_∞ 鲁棒控制[J]. 控制理论与应用, 2003, 20(1): 139-142.
Li Zhihu, Wang Jingcheng, Shao Huihe. H_∞ robust control of discrete time-delay systems with time-varying uncertainty[J]. Control Theory & Applications, 2003, 20(1): 139-142. (in Chinese)
- [15]Boyd S, Ghaoui L E, Feron E, et al. Linear Matrix Inequalities in Systems and Control Theory (Studies in Applied Mathematics, Vol. 15) [M]. Philadelphia: SIAM, 1994, 7-9.

H_∞ control of dynamic supply chain network

XU Jun-qun

Institution of Systems Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: The control and elimination of bullwhip effect is an important topic in supply chain management. For a supply chain network consisting of several manufacturers and distributors, the closed dynamical supply chain network model with uncertain demand is established. The robust operation of the network is discussed based on the H_∞ control and linear matrix inequality scheme. The effect of the uncertainty is suppressed under a feedback controller related to the inventory. Meanwhile, the operation cost of the closed supply chain network is controlled to an ideal level. A simulation example is given to show the effectiveness of the proposed method.

Key words: supply network; uncertainty; bullwhip effect; H_∞ control; linear matrix inequality