

文章编号: 1001-0920(2006)04-0470-03

预测控制理论应用于非均衡经济系统的分析

刘晓华, 刘 静

(烟台师范学院 数学与信息学院, 山东 烟台 264025)

摘 要: 讨论了一种非均衡蛛网模型, 应用预测控制理论, 使系统稳定运行, 保证供求差平稳跟踪预先给定的目标。定义了供求变化模式, 研究了该模式中参数的选择对系统动态特性和鲁棒性的影响。仿真结果表明了该算法的优异性能。

关键词: 非均衡蛛网模型; 预测控制; 鲁棒控制

中图分类号: F224

文献标识码: A

Analysis of Disequilibrium Economic System Using Predictive Control Theory

LIU Xiaohua, LIU Jing

(School of Mathematics and Information Science, Yantai Normal University, Yantai 264025, China Correspondent: LIU Jing, Email: liujing_1016@163.com)

Abstract: The disequilibrium cobweb model is studied. Stability of system evolution is guaranteed by using predictive control theory and the difference between the supply and demand tracks a pre-given target steadily. The demand and supply change mode is defined, and the influences of parameters on the dynamic characteristic and robust stability of the system are discussed. A simulation example illustrates the efficiency of the algorithm.

Key words: Disequilibrium cobweb model; Predictive control; Robust control

1 引 言

1776 年, 亚当·斯密提出了著名的“看不见的手”的观点^[1], 他认为一部分人生产并出售各种商品, 而另一部分人购买这些商品, 生产与需求在如此复杂的运动下却能自行调节并趋于相等, 正是因为存在这只“看不见的手”操纵着市场, 使市场达到供需平衡。非均衡市场模型是假定当市场上的需求与供给不平衡时, 生产者做出价格预期, 安排商品供给, 经过一段时期的价格调节, 市场的供需逐步趋向均衡^[2]。目前从控制理论的角度来分析经济市场模型的文章不多, 且仅限于采用最优控制^[3~5]的方法。最优控制虽然已较成功地解决了不少动态最优控制问题, 如最小时间控制、最少燃料控制、最佳调节器等, 但存在一定的局限性, 即其控制器的设计必须基

于一个精确的数学模型。一般来说, 建立某个特定系统的数学模型是一件非常困难的工作, 越是复杂的系统越是如此, 除了要掌握有关的理论分析和大量的实验数据, 还需要一定的实际知识和技巧。另外系统总是受到外界环境的影响而遇到一些无法测量的干扰, 在实际中要想建立一个完全准确的市场模型几乎是不可能的, 因此采用最优控制得到的最优调控策略存在很大的局限性, 寻找一种对模型要求低、鲁棒性强的经济系统的调控方法格外重要。

预测控制^[6]是在复杂的工业环境中逐步发展起来的一类新型控制算法, 最初由 Richalet 和 Cutler 等提出, 发展至今, 已形成了公认的 3 大方法机理, 即预测模型、滚动优化和反馈校正。它不仅能够最大限度地结合实际要求, 避免需要精确建模这一困难,

收稿日期: 2005-01-26; 修回日期: 2005-04-06

基金项目: 山东省自然科学基金项目(Y2005G01)。

作者简介: 刘晓华(1959—), 男, 山东烟台人, 教授, 博士, 从事预测控制、非线性系统自适应控制理论及应用等研究; 刘静(1979—), 女, 山东烟台人, 硕士生, 从事预测控制的研究。

而且算法简单, 综合控制质量好, 在理论与实践方面都取得了显著的进展^[7]。此算法与传统最优控制算法的另一区别就是预测控制中的优化不是一次离线进行, 而是利用实测信息反复优化, 及时顾及模型失配、时变、干扰等引起的不确定性因素, 及时校正弥补这些因素造成的影响, 始终把最新的优化建立在实际过程的基础上, 因此比单纯依靠模型的最优理论更能适应复杂的实际过程

本文充分利用预测控制的优点, 对非均衡蛛网模型进行系统地分析与调控。定义了供求变化模式, 研究了该模式中参数 α 的选择对系统动态特性和鲁棒性的影响, 决策层可以据此制定不同的供求变化模式满足实际的需要, 保证市场的稳定发展。仿真结果表明了该算法的优异性能

2 模型描述

许多商品的市场价格、供给量和需求量会随着时间的变化而发生变化, 呈现出时涨时跌、时增时减、交替变化的规律, 因此, 建立如下含有外干扰的非均衡蛛网模型:

$$D_k = \alpha_k G_k + \beta_1 p_k, \beta_1 < 0, \quad (1)$$

$$S_k = \alpha M_k + \beta_2 p_k^*, \beta_2 > 0, \quad (2)$$

$$p_k^* = p_{k-1} + \gamma(p_{k-1} - p_{k-2}), \quad (3)$$

$$Q_k = \min(D_k, S_k), k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

其中: D_k 为第 k 期商品的有效需求量; S_k 为第 k 期商品有效供给量; p_k 为第 k 期商品的价格; p_k^* 为第 k 期商品的预期价格; Q_k 为第 k 期商品的交易量; $\alpha, \alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$ 为各变量的系数; G_k 为影响需求的外部变量, 如气候、货币发行量; M_k 为影响供给的外部变量, 如利润、技术水平等; 式(3)表示价格调节方程, 它表明市场上供不应求时价格上涨、供过于求时价格下跌的市场经济特征; 式(4)表示“短边规则”。

对于上述模型, 假设外部干扰的波动在前后不同时期的幅度变化不大, 即满足关系式

$$G_{k+1} - G_k \quad G_{k+2} - G_{k+1},$$

$$M_{k+1} - M_k \quad M_{k+2} - M_{k+1}.$$

对经济系统进行价格调控的基本目标是: 一方面尽可能减少总需求与总供给之间的偏差; 另一方面又使前后相邻两期价格的波动大体一致, 即当 k 时, 有 $\Delta p_{k-1} - \Delta p_k \rightarrow 0$ 令

$$\Delta p_k = p_{k+1} - p_k, x_1(k) = D_{k-1} - S_{k-1},$$

$$x_2(k) = \Delta p_{k-1}, x_3(k) = \Delta p_{k-2}, u(k) = \Delta p_k,$$

$$\Delta G_k = G_{k+1} - G_k, \Delta M_k = M_{k+1} - M_k.$$

于是, 非均衡蛛网模型可化为状态空间形式

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Dw(k), \quad (5)$$

$$y(k) = x_1(k) = Cx(k). \quad (6)$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -\beta_2(1+\gamma) & \beta_2\gamma \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T, D = \begin{bmatrix} \alpha_1 & -\alpha_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix}, w(k) = \begin{bmatrix} \Delta G_k \\ \Delta M_k \end{bmatrix}.$$

3 非均衡蛛网模型的分析及控制

由式(5)和(6)递推得到 k 期后系统第 j 期供求差的预测输出方程

$$y(k+j) = CA^j x(k) + C[A^{j-1}B, \dots, B][u(k), \dots, u(k+j-1)]^T + W, \quad (7)$$

将式(7)写成向量形式为

$$Y = Y_m + GU + W. \quad (8)$$

其中

$$Y = [y(k+1), y(k+2), \dots, y(k+p)]^T,$$

$$Y_m = K_m x(k),$$

$$U = \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ \vdots \\ u(k+p-1) \end{bmatrix}, K_m = \begin{bmatrix} CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^p \end{bmatrix},$$

$$G = \begin{bmatrix} CB & & & \\ CA^1 B & CB & & \\ \vdots & & \ddots & \\ CA^{p-1} B & \dots & \dots & CB \end{bmatrix},$$

$$W = \begin{bmatrix} CDw \\ CA^1 D w & CDw & & \\ \vdots & & \ddots & \\ CA^{p-1} D w & \dots & \dots & CDw \end{bmatrix}.$$

为保证市场经济平稳运行, 希望相邻两期价格波动幅度不要太大, 使商品的供求与需求相平衡。但是市场经济规律显示, 商品的供求关系在局部时间内不可能完全处于平衡状态, 即供给与需求总存在一定的差额, 因此允许供求差 Y 在某一常值周围摆动, 据此取目标函数为

$$J = (Y - Y^*)^T (Y - Y^*) + \mathcal{N}^T U. \quad (9)$$

其中 Y^* 代表供求变化模式, 由决策层根据市场经济发展规律制定, 定义为

$$Y^* = [y_r(k+1), y_r(k+2), \dots, y_r(k+p)],$$

$$y_r(k+j) = \alpha y_r(k+j-1) + (1-\alpha)y_s, \quad (10)$$

$$j = 1, \dots, p.$$

由式(10)可得

$$Y_r = K_r x(k) + S_r y_s,$$

$$K_r = [\alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^p]^T C,$$

$$S_r = [1 - \alpha, 1 - \alpha^2, \dots, 1 - \alpha^p]^T,$$

$$0 < \alpha < 1.$$

其中 y_s 为给定的跟踪目标, 即决策层依据实际制定的供给量与需求量之间允许的差额. 为了避免供求市场的大起大落, 在目标函数中采取了柔化措施, 使 Y 从现时实际 $y(k)$ 出发沿着供求变化模式 Y^* 平稳过渡到给定目标 y_s .

从式(10)可以看出, α 为供求变化模式中的一个重要设计参数, 它对整个经济系统的动态特性和鲁棒性都起着关键性作用. 如果决策层要求供求差在短时间内迅速跟踪给定目标 y_s , 就可以在设计供求变化模式时将 α 取小些, 但这样做可能会导致整个市场的不稳定; 同样, 如果决策层强调市场的稳定性, 要求供求差平稳跟踪给定目标 y_s , 就可将 α 取大些, 但会导致跟踪时间相对较长, 因此在实际中可通过具体调试 α 的大小来满足不同的需要.

极小化目标函数(9), 得最优控制律为

$$U = (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T (Y^* - Y_m - W). \quad (11)$$

根据预测控制中的滚动优化策略^[6], 不是采用一个不变的全局优化目标, 而是采用滚动式的有限时域优化策略, 及时地校正因市场变化引起的不确定性. 这意味着优化过程不是一次离线进行, 而是在线反复进行优化计算、滚动实施, 从而使模型失配、干扰等引起的不确定性能得到及时弥补, 从而提高了系统的控制效果. 根据该策略取式(11)首行, 令

$$g = (1, 0, \dots, 0) (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T,$$

得第 k 年的最优预期价格波动为

$$u(k) = g (Y^* - Y_m - W). \quad (12)$$

从以上分析看出, 预测控制始终把优化过程建立在从实际过程中获得最新信息的基础上, 信息量充分, 对价格波动预期较为准确, 调控更加有效.

4 仿真研究

考虑一个简单的非均衡蛛网模型, 其系统参数^[5]分别为: $\beta_1 = -0.6$, $\beta_2 = 0.4$, $\alpha_1 = 0.11$, $\alpha_2 = 0.116$, $\gamma = 0.1$, 而模型参数分别为 $\beta_1 = -0.599$, $\beta_2 = 0.401$, $\alpha_1 = 0.1101$, $\alpha_2 = 0.116$, $\gamma = 0.1$. α 为供求变化模式中的一个重要设计参数, 图1与图2分别给出了 α 等于 0.01 和 0.9 时, 供求差与相邻两期价格波动的仿真曲线. 仿真研究表明运用预测控制理论, 可以达到使供求差平稳跟踪给定目标, 保证市场稳定的目的. 而且可知商品在上市前期, 由于对市场信息了解不足等多种因素的影响, 价格波动在短

时间内比较大. 随着时间增长, 市场逐步达到供需平衡, 相邻两期价格的波动大体一致. 在 α 的选取问题上可以发现 α 增大可以减少超调, 使系统稳定度增高, 但动态响应越缓慢, 供求差准确跟踪给定目标的时间越长 ($\alpha = 0.9$ 的时间约为 $\alpha = 0.01$ 的时间的 8 倍). 因此决策层可通过选择不同的 α 制定不同的供求变化模式来满足实际的需要, 保证市场的稳定发展.

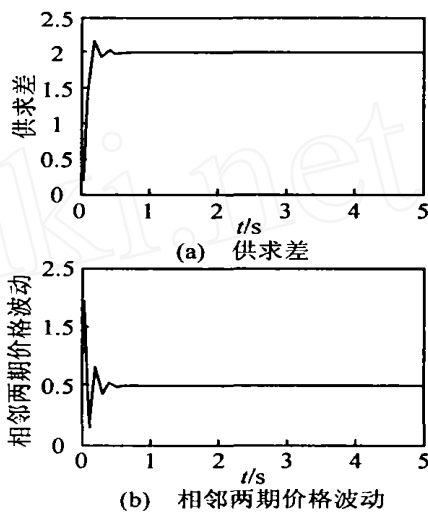


图1 $\alpha = 0.01$ 时的曲线

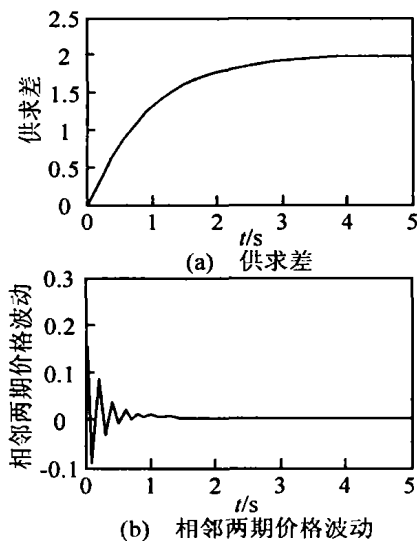


图2 $\alpha = 0.9$ 时的曲线

5 结论

通过分析和仿真验证可以看出: 采用本文的方法, 能够保证相邻两期价格波动相一致, 使供求差准确地跟踪给定的目标, 从而使整个市场稳定发展. 本文提出的理论与方法能够帮助政府决策层对整个经济系统进行有效的调控, 正确使用财政和货币两种手段, 避免经济有较大的波动, 从而使整个经济系统保持平稳快速增长.

(下转第 476 页)

6 结 论

当样本的误分类代价不相等时,传统的基于精度的分类器有时不能满足现实数据CSM的要求。基于标准的SVM算法通过把样本的不同误分类代价集成到SVM的设计中,提出CS-SVM的设计方法。

CS-SVM和SVM的主要不同之处是:1)CS-SVM考虑了样本的不同误分类代价,以结构代价和经验代价的线性和最小为目标,能够实现CSM;2)由于引入代价 co_i ,SVM中具有同样Lagrange系数的样本在CS-SVM中可能表示不同类型的支持向量,它们决定了ODH和CS-ODH的不同位置。

实验结果表明,尽管基于CS-SVM的CS-ODH和基于SVM的ODH相比有较高的误分类数,但平均误分类代价大大降低,实现了CSM。

对CS-SVM,本文给出了一个虚拟数据集和两个Benchmark数据集的实验结果。将CS-SVM应用到大型数据集或者工业过程故障诊断是进一步的主要工作。另外,把其他的基于精度的分类算法转化为代价敏感挖掘算法也是有意义的研究工作。

参考文献(References)

[1] Han J, Kamber M. *Data Mining: Concepts and Techniques* [M]. San Francisco CA: Morgan Kaufmann, 2001.

- [2] 周志华. 普适机器学习[EB/OL]. <http://www.intsci.ac.cn/research/zhouzh04.ppt>, 2003
(Zhou Z H. *Pervasive Machine Learning* [EB/OL]. <http://www.intsci.ac.cn/research/zhouzh04.ppt>, 2003.)
- [3] Drummond C, Holte R. Exploiting the Cost (in) Sensitivity of Decision Tree Splitting Criteria [A]. *Proc of the 17th Int Conf on Machine Learning* [C]. San Francisco, 2000: 239-246.
- [4] Fan W, Stolfo S, Zhang J, et al. AdaCost: Misclassification Cost-sensitive Boosting [A]. *Proc of the 16th Int Conf on Machine Learning* [C]. Bled, 1999: 97-105.
- [5] Zadrozny B, Langford J, Abe N. Cost-sensitive Learning by Cost-proportionate Example Weighting [A]. *Proc of the 3rd IEEE Int Conf on Data Mining* [C]. Melbourne, 2003.
- [6] Vapnik V N. An Overview of Statistical Learning Theory [J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 1999, 10(5): 988-999.
- [7] Burges C. A Tutorial on Support Vector Machines from Pattern Recognition [J]. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1998, 2(2): 121-167.
- [8] Michie, Spiegelhalter D J, Taylor C C. *Machine Learning, Neural and Statistical Classification* [EB/OL]. <http://www.ncc.up.pt/iacc/ML/statlog/data.html>, 2004.

(上接第472页)

参考文献(References)

[1] 张金水. 经济控制论——动态经济系统分析方法与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 152-155.
(Zhang J S. *Economical Cybernetics—The Analyzing Method and Application for Dynamic Economic Systems* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999: 152-155.)

[2] Lambert J P. *Disequilibrium Macroeconomic Models: Theory and Estimation of Rationing Models Using Business Survey Data* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

[3] 陈其坤. 非均衡微观市场价格调节的鲁棒控制策略[J]. *厦门大学学报*, 2001, 40(1): 215-218.
(Chen Q K. Robust Control Policies on Price Adjustment for Non-equilibrium Micro Market [J]. *J of Xiamen University*, 2001, 40(1): 215-218.)

[4] 肖冬荣, 陆振宇. 鲁棒控制理论应用于宏观经济系统分

析[J]. *控制与决策*, 2002, 17(5): 629-630.

(Xiao D R, Lu Z Y. Analysis of Macroeconomic System Using Robust Control Theory [J]. *Control and Decision*, 2002, 17(5): 629-630.)

- [5] 雷勇. 非均衡市场价格调节的纯增益反馈控制问题研究 [J]. *中国管理科学*, 2000, 8(1): 51-55.
(Lei Y. Pure Gain Feedback Control Research on Price Adjustment for Disequilibrium Micro Market [J]. *Chinese J of Management*, 2000, 8(1): 51-55.)
- [6] Clarke D W, Mohtadi C. Generalized Predictive Control, Part I and part II [J]. *Automatic*, 1987, 23(2): 137-160.
- [7] 胡耀华, 贾欣乐. 广义预测控制综述 [J]. *信息与控制*, 2000, 29(3): 248-256.
(Hu Y H, Jia X L. Summarization of Generalized Predictive Control [J]. *Information and Control*, 2000, 29(3): 248-256.)