

文章编号: 1001-0920(2002)05-0629-02

鲁棒控制理论应用于宏观经济系统分析

肖冬荣, 陆振宇

(南京气象学院 信息工程系, 江苏 南京 210044)

摘要: 针对宏观经济系统模型的不确定性, 运用鲁棒控制理论进行宏观经济系统的分析与决策, 使得宏观经济系统能够保持鲁棒稳定性并准确跟踪预先给定的目标。

关键词: 鲁棒控制; 宏观经济系统; LQ 最优; LQG 控制器

中图分类号: TP 13 **文献标识码:** A

Analysis of macroeconomic system using robust control theory

XIAO Dong-rong, LU Zhen-yu

(Department of Information Engineering, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The uncertainty of macroeconomic system model is studied. The theory of robust control is applied to analysis of macro-economic system. The macroeconomic system is shown to be able to keep robust stability and track exactly the pre-given target.

Key words: robust control; macroeconomic system; LQ-optimization; LQG-controller

1 引言

一般的实际系统都具有不确定性, 当不确定性在一组给定的范围内发生变化时, 如果能够保证反馈控制系统的稳定性、渐进调节和动态特性不受影响, 则称该系统是具有鲁棒性的^[1]。

2 宏观经济系统模型的建立

宏观经济系统是一个动态系统, 其模型本身具有缺陷和参数估计误差, 而且存在自身和外部的扰动信号^[2]。本文运用线性二次型控制理论中的鲁棒设计方法对宏观经济系统进行分析与优化控制, 从而能够保持经济系统的完全稳定运行, 并且保证受

控变量能够准确跟踪预先给定的目标。

3 宏观经济系统模型的分析及其控制策略

3.1 线性二次型高斯(LQG) 问题

以下是简化的动态受控系统模型^[3]

$$\begin{cases} X(t+1) = AX(t) + BU(t) + \Gamma W(t) \\ Y(t) = CX(t) + V(t) \end{cases} \quad (1)$$

假设这些信号为零均值的 Gauss 过程, 它们的协方差矩阵为

$$\begin{cases} E[W(t)W^T(t)] = \Xi & 0 \\ E[V(t)V^T(t)] = \Theta & 0 \end{cases} \quad (2)$$

定义最优控制的性能指标函数为

收稿日期: 2001-06-13; 修回日期: 2001-08-28

基金项目: 江苏省社科基金项目(983104)

作者简介: 肖冬荣(1944—), 男, 湖南郴州人, 教授, 从事系统科学与控制工程、经济控制与决策等研究; 陆振宇(1976—),

© 1994-2008, 江苏常州人, 硕士生, 从事经济系统优化控制、鲁棒控制理论及其应用等研究。 reserved. <http://www.cnki.net>

$$J = E_{\{0\}} [Z^T(t)QZ(t) + U^T(t)RU(t)]dt \quad (3)$$

3.2 LQG 问题的求解和 LQG 补偿器设计

LQG 问题可以简化成一般的 LQ 最优控制问题,根据 Kalman 滤波理论可得出 Kalman 滤波器的增益矩阵为

$$K_f = P_f C^T \Theta^{-1} \quad (4)$$

其中 P_f 满足下面的 Riccati 代数方程(ARE)

$$P_f A^T + A P_f - P_f C^T \Theta^{-1} C P_f + \Gamma \Xi \Gamma^T = 0 \quad (5)$$

且可得出 P_f 矩阵为对称半正定矩阵,即 $P_f = P_f^T$ 0。

在假定条件下,Kalman 滤波器为

$$\dot{\hat{X}}(t) = A \hat{X}(t) - K_f(Y - C \hat{X}(t)) \quad (6)$$

这时最优控制 $U^*(t)$ 满足

$$U^*(t) = -K_c \hat{X}(t) \quad (7)$$

最优状态反馈矩阵 K_c 为

$$K_c = R^{-1} B^T P_c \quad (8)$$

即

$$G_c(s) = \begin{bmatrix} A - K_f C - B K_c & K_f \\ K_c & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式(9)即为LQG最优调节器的传递函数矩阵。

4 简单宏观经济系统模型的实例及仿真

下面给出一个简单的宏观动态经济系统^[4]

$$\begin{cases} Y(t) = I(t) + C(t) + G(t) \\ I(t+1) = a \times Y(t) + b \times i(t) \\ S(t+1) = q \times Y(t) + d \times i(t) \\ C(t) = Y(t) - S(t) - T(t) \\ T(t) = u \times Y(t) \\ L(t) = Lr(t) + Ls(t) \\ Lr(t) = e + g \times Y(t) \\ Ls(t) = h + l \times i(t) \\ i(t+1) = i(t) + k(L(t) - M(t)) \end{cases} \quad (10)$$

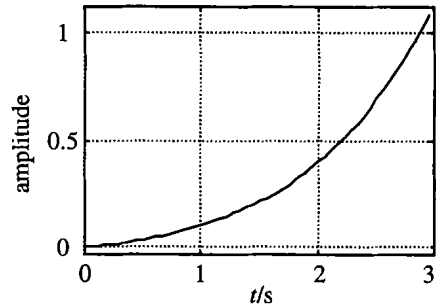
然后设计该系统的货币政策($M(t)$)和财政政策($G(t)$)动态LQG调节器,它可以使宏观经济系统在事先期望的目标(如要求利率 $i(t)$ 维持不变,同时 $Y(t)$ 即名义GDP以一定的增长率增长)下稳定地运行。

下面对系统(10)的参数赋予具体估计数值^[5]:
 $a = 0.4, b = -2, q = 0.25, d = 3, u = 0.2, e = 0.3, g = 0.1, h = 0.4, l = -1, k = 0.05$ 。在实际工

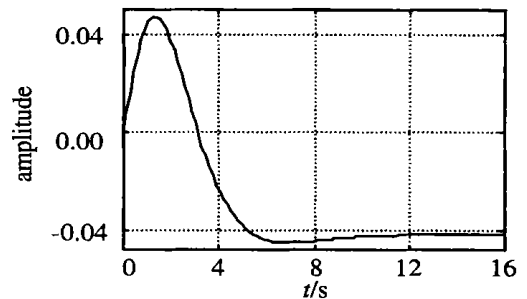
作中,上述参数大小应依据实际数据确定,在上述参数条件下,式(10)变为

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} i(t+1) \\ Y(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.95 & 0.005 \\ -25 & 0.75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i(t) \\ Y(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.05 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M(t) \\ G(t+1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.035 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} i(t) \\ Y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i(t) \\ Y(t) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (11)$$

运用 MATLAB 软件进行仿真^[6],可得出该动态宏观经济系统的响应曲线。从图1(a)可见,原闭环系统存在明显的系统波动和不稳定性,而图1(b)表明,LQG 调节器使闭环系统的阶跃响应有显著的改善。因此,鲁棒控制理论能够保证宏观经济系统的稳定运行。



(a) 原闭环系统



(b) 带 LQG 调节器的闭环系统

图 1 系统阶跃响应

5 结 语

本文提出的理论和方法对中小规模的宏观经济系统具有较大的应用价值,并且能够帮助宏观经济决策层进行宏观经济系统的分析,正确地运用财政和货币两种调控手段,避免宏观经济的较大波动,从而使宏观经济平稳快速地增长。

的模糊控制器提供理论依据。

参考文献(References):

- [1] Braae M, Rutherford D A. Theoretical and linguistics aspects of the fuzzy logic controller[J]. *Automatic*, 1979, 15(1): 15-30.
- [2] Kiszka J B, Gupta M M, Nikiforuk P N. Energetic stability of fuzzy dynamic systems[J]. *IEEE Trans on*

Systems, Man & Cybernetics, 1985, 15(6): 783-792.

- [3] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995. 194-220.
- [4] 冯纯伯, 费树岷. 非线性控制系统分析与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 72-79.
- [5] Jian-Xin Xu, Chang-Chieh Hang, Chen Liu. Parallel structure and tuning of a fuzzy PID controller[J]. *Automatic*, 2000, 36(5): 673-684.

(上接第 582 页)

参考文献(References):

- [1] Holland J. *Adaptation in Nature and Artificial Systems* [M]. Michigan: The University of Michigan Press, 1975.
- [2] Davis L. *The Handbook of Genetic Algorithms* [M]. New York: Van Nostrand Reingold, 1991.
- [3] Bersini H, Renders B. Hybridizing genetic algorithms with hill climbing methods for global optimization: Two possible ways [A]. 1994 *IEEE Int Symposium Evolutionary Computation*[C]. Orlando, 1994. 312-317.
- [4] Corana A, Marchesi M, Martini C, et al. Minimizing multimodal functions of continuous variables with the simulated annealing algorithm [J]. *ACM Trans on*

Mathematical Software, 1987, 13(3): 262-280.

- [5] Michalewicz Z. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs* [M]. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [6] Houck C, Joines J, Kay M. The effective use of local improvement procedures in conjunction with genetic algorithms [R]. North Carolina: North Carolina State University, 1995.
- [7] E G Johnson, M A G Abushagur. Micro-genetic algorithm optimization methods applied to dielectric gratings [J]. *J of the Optical Society of America*, 1995, 12(5): 1152-1160.

(上接第 628 页)

- [6] Z Michalewicz, M Schoenauer. Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems [J]. *Evolutionary Computation*, 1996, 4(1): 1-32.
- [7] M Sakava, K Yauchi. Coevolutionary genetic algorithms for nonconvex nonlinear programming problems: Revised GENOCOP [J]. *Cybernetic and Systems*, 1998, 29(8): 885-899.
- [8] D Whitley. The GENITOR algorithm and selective pressure: Why rank-based allocation of reproductive

trials is best [A]. *Proc 3rd ICGA* [C]. Morgan Kaufman, 1989.

- [9] A Wright. Genetic algorithms for real parameter optimization [A]. *Foundations of Genetic Algorithms* [C]. Morgan Kaufman, 1991. 205-218.
- [10] T Kuo, S-Y Hwang. Using disruptive selection to maintain diversity in genetic algorithms [J]. *Applied Intelligence*, 1997, 7(3): 257-267.

(上接第 630 页)

参考文献(References):

- [1] 吴敏, 桂卫华. 现代鲁棒控制[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1998.
- [2] 黄小原, 钟麦英. 辽宁省宏观经济模型及其H控制[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(5): 781-783.
(Huang Xiao-yuan, Zhong Mai-ying. Macroeconomic model of Liaoning province and its H control[J]. *The Theory and Application of Control*, 2000, 17(5): 781-783.)

[3] 肖冬荣. 系统控制论[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1995.

- [4] Cararani P. H criteria for macroeconomic policy evaluation [J]. *Economic Dynamics and Control*, 1995, 19(5-7): 961-984.
- [5] 张金水. 经济控制论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [6] 薛定宇. 反馈控制系统设计与分析——MATLAB 语言应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.