

文章编号: 1001-0920(2005)05-0553-04

系统云灰色宏观调控预测模型及其应用研究

陈德军¹, 张玉民², 陈绵云²

(1 武汉理工大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430070; 2 华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 根据系统云灰色预测模型, 针对具有“贫”信息、小样本序列数据的社会经济系统, 分析了外部环境变化或外部政策调控对系统预测的影响机理。在系统动态结构相对稳定的条件下, 结合系统动力学和系统云灰色模型, 提出了一种系统云灰色宏观调控预测模型, 并对该模型的求解方法进行了研究。最后, 以国民经济增长速度的宏观调控预测为例, 阐述了上述调控预测模型的使用方法、合理性和准确性。

关键词: 系统云; 灰色预测; 趋势关联; 宏观调控模型

中图分类号: N941.5 **文献标识码:** A

On system cloud macro adjusting forecasting model and its application

CHEN De-jun¹, ZHANG Yu-min², CHEN Mian-yun²

(1. College of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China
Correspondent: CHEN De-jun, E-mail: m-r-chendj@163.com)

Abstract: Based on system cloud gray forecasting model, and aimed at the society economy system with “poor” information and small sample series, the influencing mechanism of system forecasting is analyzed when external environment changed or macro policies adjusted. When dynamic structure of system is stable relatively, a macro adjusting and forecasting model of system cloud gray is proposed, and its solution is investigated. The macro adjusting and forecasting of national economy increasing in productivity is discussed, the application and rationality and veracity of macro adjusting and forecasting model are illustrated.

Key words: system cloud; gray forecasting; trend relation; macro adjusting model

1 引言

作为一类典型的动力学系统, 社会经济系统不断与外界进行着信息和能量的交换, 以适应外界环境, 但它始终以系统的内部结构为主导^[1]。系统云灰色模型^[1]SCGM(1, h)刻画了这类系统的内部结构, 其模型参数反映了系统的内部性质。但为了使构造的系统能及时感应或控制因外部环境变动和外部干扰产生的影响, 必须加入外部作用项。因此, 构造一种具有宏观调控作用的预测模型, 并在系统动态结构相对稳定的条件下, 研究外部环境变化或外部政

策调控对系统预测的影响, 具有相当重要的理论意义和实用价值。

2 SCGM(1, h) 宏观调控预测模型

2.1 系统模型的构造

由文献[2]可知, SCGM(1, h)模型为

$$\hat{X}^{(1)}(t) = A \hat{X}^{(1)}(t) + \hat{U}, t = 0, \quad (1)$$

其还原预测解为

$$\hat{X}^{(0)}(t) = e^{\hat{A}t} \hat{A}^{-1} (\hat{X}^{(1)}(0) + \hat{A}^{-1} \hat{U}) = e^{\hat{A}t} \hat{A} \hat{B}, \quad (2)$$

离散形式为

收稿日期: 2004-07-12; 修回日期: 2004-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(79970025); 国防科研预研基金项目(00J1533JW0528)。

作者简介: 陈德军(1964—), 男, 湖北天门人, 副教授, 从事灰色系统理论、决策支持系统的研究; 陈绵云(1937—), 男, 湖北竹山人, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论、一般系统理论的研究。

$$\hat{X}^{(0)}(k) = e^{\hat{A}(k-1)}(\hat{X}^{(1)}(0) + \hat{A}^{-1}\hat{U}) = e^{\hat{A}(k-1)}\hat{A}B. \quad (3)$$

式中 \hat{A}, \hat{B} 和 \hat{U} 的含义及其求取方法见文献[3]

通过观测的数据求得 SCGM (1, h) 模型的参数 \hat{A} , 它反应了系统当前结构特征, 是一种内部结构参数动态的、近似的描述 \hat{U} 不能代表外部的动态输入, 只是外部输入效果的等价描述 可见 SCGM (1, h) 为实现系统的调控和预测提供了对象模型 在现实社会中, 社会经济系统往往受到各种自然和人为因素的影响, 使整个系统的发展速度过快或过慢 为了保证整个系统稳定、健康地增长, 国家各级职能部门都将采取相应对策和措施对系统进行控制 这种调控行为表现为在系统模型中加入调控作用项, 该调控项可改变系统的整个动态性能

定义 1 设系统可采用 SCGM (1, h) 模型进行描述, 当前时间为 t_1 , 外部所加的调控项函数为 $G(t)$, 则具有调控作用的系统模型为

$$\begin{aligned} \dot{\hat{X}}^{(1)}(t) &= \hat{A}\hat{X}^{(1)}(t) + \hat{U} + \\ &\text{Heaviside}(t - t_1) * G(t - t_1), t \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $G(t - t_1) = [g_1(t - t_1), g_2(t - t_1), \dots, g_n(t - t_1)]^T$; $g_i(t - t_1)$ 为每个系统状态受到的外部作用量; Heaviside($t - t_1$) 为滞后函数, 其特性为

$$\text{heaviside}(t - t_1) = \begin{cases} 1, & t \geq t_1; \\ 0, & t < t_1. \end{cases}$$

进一步, 可对系统模型(4) 进行求解

定理 1 令 $G(t - t_1)$ 为系统的调控项, $\{X_i^{(0)}(k) | k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, h\}$ 为系统的观测时序, 相应均值时序 $\{\bar{X}_i^{(0)}(k)\}$ 和均值累加生成时序 $\{\bar{X}_i^{(1)}(k)\}, k = 2, 3, \dots, n$. 若 $\{\bar{X}_i^{(0)}(k)\}$ 与齐次离散指数函数 $X(k) = e^{\hat{A}(k-1)}\bar{B}$ 满意趋势关联 ($A \in R^{h \times h}, \bar{B} \in R^{h \times 1}$), 则具有调控作用的 SCGM (1, h) 模型为式(4). 其解为

$$\begin{aligned} \hat{X}^{(1)}(t) &= e^{\hat{A}t}(\hat{X}^{(1)}(0) + \hat{A}^{-1}\hat{U}) - \hat{A}^{-1}\hat{U} + \\ &\text{heaviside}(t - t_1) * \int_{t_1}^t e^{\hat{A}(t-\tau)} G(\tau - t_1) d\tau, \end{aligned} \quad (5)$$

其预测表达式为

$$\begin{aligned} \hat{X}^{(0)}(t) &= \hat{A}e^{\hat{A}t}(\hat{X}^{(0)}(0) + \hat{A}^{-1}\hat{U}) + \\ &\text{heaviside}(t - t_1) * \left[\hat{A}e^{\hat{A}t} \int_{t_1}^t e^{\hat{A}\tau} G(\tau - t_1) d\tau + G(t - t_1) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

证明 对于模型中的线性齐次部分, $\hat{X}^{(1)}(t) = \hat{A}\hat{X}^{(1)}(t)$, 其解为

$$\hat{X}^{(1)}(t) = e^{\hat{A}t}\hat{X}^{(1)}(0).$$

采用常数变易法, 令

$$\begin{aligned} \hat{X}^{(1)}(t) &= e^{\hat{A}t}C(t), \\ \dot{\hat{X}}^{(1)}(t) &= \hat{A}\hat{X}^{(1)}(t) + e^{\hat{A}t}\dot{C}(t), \\ \dot{C}(t) &= e^{-\hat{A}t}(\hat{U} + \text{heaviside}(t - t_1) * G(t - t_1)), \\ C(t) &= C(0) + (I - e^{-\hat{A}t})\hat{A}^{-1}\hat{U} + \\ &\text{heaviside}(t - t_1) * \int_0^t e^{-\hat{A}\tau} G(\tau - t_1) d\tau, \\ \hat{X}^{(1)}(t) &= e^{\hat{A}t}[(I - e^{-\hat{A}t})\hat{A}^{-1}\hat{U} + \\ &\text{heaviside}(t - t_1) * \int_0^t e^{-\hat{A}\tau} G(\tau - t_1) d\tau + C(0)], \\ C(0) &= \hat{X}^{(1)}(0), \\ \hat{X}^{(1)}(t) &= e^{\hat{A}t}(\hat{X}^{(1)}(0) + \hat{A}^{-1}\hat{U}) - \hat{A}^{-1}\hat{U} + \\ &\text{heaviside}(t - t_1) * \int_{t_1}^t e^{\hat{A}(t-\tau)} G(\tau - t_1) d\tau \end{aligned}$$

另外, 序列 $\bar{X}_i^{(1)}(k)$ 是原始序列 $X_i^{(0)}(k)$ 的积分累加生成的^[2,4], 因此可得系统预测模型为 $\hat{X}^{(0)}(t) = \hat{X}^{(1)}(t)$. 则

$$\begin{aligned} \hat{X}^{(0)}(t) &= \hat{A}e^{\hat{A}t}(\hat{X}^{(0)}(0) + \hat{A}^{-1}\hat{U}) + \\ &\text{heaviside}(t - t_1) * \left[\hat{A}e^{\hat{A}t} \int_{t_1}^t e^{-\hat{A}\tau} G(\tau - t_1) d\tau + G(\tau - t_1) \right] \end{aligned}$$

可见, 只要确定了调控函数, 即可求得问题的解

2.2 宏观调控预测模型的求解

对于预测模型(6) 的求解, 关键是对控制项 $G(t - t_1)$ 的求解 根据本文建模过程可知, 模型(2) 为现有经济系统中被选择因素的预测模型, 它反映出系统在现有环境下的发展趋势, 而模型(6) 则是带有调控项的预测模型, 它反映出调整后的预测结果 显然, 模型(2) 与(6) 的差值即为调控作用的结果, 该差值表现为时间的函数

定义 2 设 t_1 为加入调控作用的时间, 调控函数为 $G(t - t_1)$. 称预测模型(2) 与调控预测模型(6) 之差为调控效果, 若设调控效果函数为 $E(t - t_1)$, 则有

$$\begin{aligned} \hat{A}e^{\hat{A}t} \int_{t_1}^t e^{-\hat{A}\tau} G(\tau - t_1) d\tau + G(t - t_1) = \\ - E(t - t_1). \end{aligned} \quad (7)$$

对式(7) 进行积分变换, 令 $\tau - t_1 = s$, 可得

$$\begin{aligned} \hat{A}e^{\hat{A}(t-t_1)} \int_0^{t-t_1} e^{-\hat{A}s} G(s) ds + G(t - t_1) = \\ - E(t - t_1). \end{aligned}$$

对上式进行坐标平移, 令 $t - t_1 = t$, 仍记 t 为 t , 则有:

定义 3 设调控函数为 $G(t)$, 调控效果函数为 $E(t)$, 则

$$A \hat{e}^{\hat{A}t} \int_0^t e^{-\hat{A}s} G(s) ds + G(t) = - E(t). \quad (8)$$

由定义 2 可知, 调控效果函数 $E(t)$ 是一个已知函数 当已求得系统模型的预测值并确定了调控期望达到的设定值后, 可得到一个时间序列 $\{E(k), k = 1, 2, \dots, m\}$. 对该序列值进行曲线拟合, 即可求得效果函数 $E(t)$.

定理 2 若调控效果函数 $E(t)$ 已知, 则可得调控函数

$$G(t) = A \int_0^t E(s) ds - E(t). \quad (9)$$

式中 $E(t) = [e_1(t), e_2(t), \dots, e_h(t)]^T, G(t) = [g_1(t), g_2(t), \dots, g_h(t)]^T$.

证明 由式(8)可得

$$\int_0^t e^{-\hat{A}s} G(s) ds = - A^{-1} e^{-\hat{A}t} [E(t) + G(t)],$$

则

$$e^{-\hat{A}t} G(t) = e^{-\hat{A}t} [E(t) + G(t)] - A^{-1} e^{-\hat{A}t} [E(t) + G(t)],$$

$$\hat{G}(t) = \hat{A} E(t) - \hat{E}(t),$$

$$G(t) = A \int_0^t E(s) ds - E(t) + G(0) + E(0).$$

由式(2)和(6)可得

$$G(0) = X^{(0)}(t) - A \hat{e}^{\hat{A}t} (X^{(0)}(0) + A^{-1} U) = 0$$

又由定义 3 可得 $E(0) = - G(0) = 0$

当确定调控项后, 即可根据对应因素的物理意义对其进行解释; 然后制定出对应的实施措施, 对实际系统进行调控 同理, 当已知调控函数时, 也可根据系统调控预测模型求取调控效果值

3 实例分析

下面以我国国民经济增长速度的宏观调控为例, 使用 SCGM (1, h) 灰色调控预测模型进行分析

首先, 确定用于分析的数据主题, 获得分析数

表 1 1994 ~ 1999 年国内生产总值、工业生产总产值、交通运输电信 亿元

生产总值	1994	1995	1996	1997	1998	1999
$X_1^{(0)}(k)$	46 759.4	58 478.1	67 884.6	74 462.6	78 345.2	81 910.9
$X_2^{(0)}(k)$	19 359.6	24 718.3	29 082.6	32 412.1	33 387.9	34 975.2
$X_3^{(0)}(k)$	2 685.9	3 054.7	3 494.0	3 797.2	4 121.3	4 459.5
$X_1^{(1)}(k)$	46 759.4	52 618.75	6 3181.35	71 173.6	76 403.9	80 128.1
$X_2^{(1)}(k)$	19 359.6	22 038.95	26 900.45	30 747.35	32 900	34 181.55
$X_3^{(1)}(k)$	2 685.9	2 870.3	3 274.35	3 645.6	3 959.25	4 290.4
$X_1^{(1)}(k)$	46 759.4	99 378.15	162 559.5	233 733.1	310 137	390 265.05
$X_2^{(1)}(k)$	19 359.6	41 398.55	68 299	99 046.35	131 946.35	166 127.9
$X_3^{(1)}(k)$	2 685.9	5 556.2	8 830.55	12 476.15	16 435.4	20 725.8

据 这里, 选定国民经济系统, 并确定其包含的典型行业作为系统影响因素 本例选定的影响因素为: 国内生产总值、工业总产值和交通运输电信业总产值, 分别代表国内生产总值、第二产业和第三产业 获取的数据为 1994 ~ 1999 年国内生产总值、工业总产值和交通运输电信业总产值^[5]. 其次, 计算参考序列 记系统的观测时序为: $\{X_i^{(0)}(k) | k = 1, 2, \dots, 6; i = 1, 2, 3\}$, 式中 $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, X_3^{(0)}$ 分别为国内生产总值、工业生产总产值、交通运输电信生产总产值 相应均值时序 $\{\bar{X}_i^{(0)}(k) | k = 1, 2, \dots, 6; i = 1, 2, 3\}$ 和积分生成时序 $\{\bar{X}_i^{(1)}(k) | k = 1, 2, \dots, 6; i = 1, 2, 3\}$ 如表 1 所示 并计算结构参数得^[2]

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 12 & 399 & 4 & - & 21 & 613 & 5 & - & 58 & 363 & 8 \\ 6 & 681 & 6 & - & 11 & 386 & 1 & - & 33 & 785 & 5 \\ 0 & 265 & 6 & - & 0 & 469 & 1 & - & 1 & 143 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} 544 & 557 & 8 \\ 232 & 934 & 2 \\ 28 & 593 & 6 \end{bmatrix}, \hat{U} = \begin{bmatrix} 44 & 550 & 3 \\ 19 & 290 & 8 \\ 2 & 444 & 5 \end{bmatrix},$$

$$\hat{C} = \begin{bmatrix} 497 & 387 & 1 \\ 213 & 282 & 2 \\ 25 & 916 & 4 \end{bmatrix}.$$

进而计算得到拟合序列 $\{\hat{X}^{(1)}(t)\}$, 如表 2 所示

由此可计算拟合序列与观测序列的积分生成序列 $\{\bar{X}_i^{(1)}(k)\}$ 的趋势关联度^[3], 其计算结果为: $\epsilon_1^{(1)} = 0.9935, \epsilon_2^{(1)} = 0.9903, \epsilon_3^{(1)} = 0.9908$

可见, 二者的趋势关联性很强 因此, 可选用 SCGM (1, h) 模型近似构造反映国民经济的系统模型 由连续预测模型(2)可得预测曲线如图 1 所示, 其预测值见表 3 中的 $\hat{X}_{ci}^{(0)}(k)$.

从表 3 中的预测值可见, 根据现有经济结构, 未来经济的发展速度将过快, 因此必须加以调控 依据预测值可确定出合理的期望值, 其调控预测值见表 3 中的 $\hat{X}_{di}^{(0)}(k)$.

根据调控模型的使用方法, 需首先确定效果序

表2 积分累加序列的拟合值

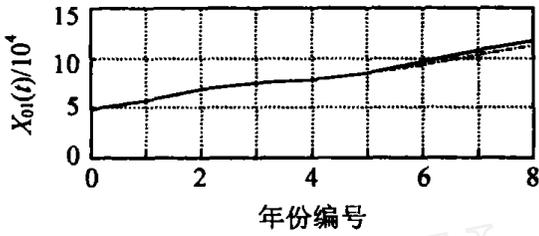
亿元

k	1994	1995	1996	1997	1998	1999
$\hat{X}_1^{(1)}(t)$	47 170.7	99 440.9	162 336.9	234 006.0	309 894.7	390 394.2
$\hat{X}_2^{(1)}(t)$	19 652.0	41 493.1	68 226.7	99 172.9	131 844.2	166 081.3
$\hat{X}_3^{(1)}(t)$	2 677.3	5 541.7	8 816.3	12 476.0	16 442.1	20 748.1

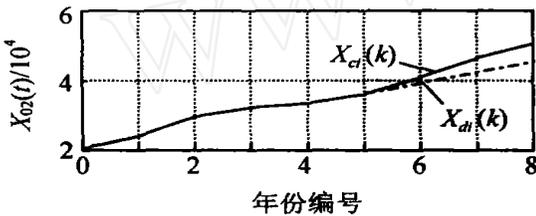
表3 预测值与调控预测值

亿元

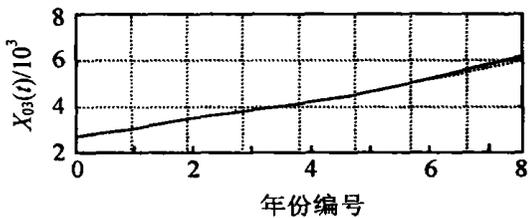
年份	$\hat{X}_{c1}^{(0)}(k)$	$\hat{X}_{c2}^{(0)}(k)$	$\hat{X}_{c3}^{(0)}(k)$	$\hat{X}_{d1}^{(0)}(k)$	$\hat{X}_{d2}^{(0)}(k)$	$\hat{X}_{d3}^{(0)}(k)$
1999	84 358.1	35 745.1	4 518.4	84 358.0	35 745.1	4 518.4
2000	95 992.6	40 841.2	5 049.3	93 486.5	39 196.0	5 014.8
2001	108 140.9	46 357.1	5 617.7	102 614.8	42 647.0	5 511.1
2002	117 933.5	50 583.0	6 165.8	111 743.2	46 098.0	6 007.4



(a) 国内生产总值



(b) 工业生产



(c) 交通运输电信生产

图1 模型预测与调控效果对照

列值; 然后求解其调控量。根据表3中的数据, 可得到调控前的预测值与调控目标值之间的差值, 即效果序列值。根据效果序列值的走势, 可确定拟合曲线的类型, 并通过曲线拟合得到对应调控效果函数。这里采用3次多项式拟合, 可得3个拟合函数分别为

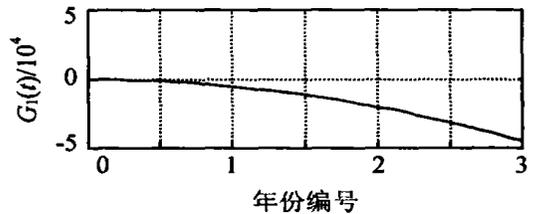
$$\begin{aligned} \hat{E}_1(t) &= -478.3t^3 + 1691.8t^2 + 1292.6t, \\ \hat{E}_2(t) &= -285.0t^3 + 1064.7t^2 + 865.4t, \\ \hat{E}_3(t) &= -9.6t^3 + 47.6t^2 - 3.4t \end{aligned}$$

根据拟合函数, 可计算得到对应点的拟合值 $\hat{E}_1^{(0)}(k)$, $\hat{E}_2^{(0)}(k)$ 和 $\hat{E}_3^{(0)}(k)$ 。当效果函数确定后, 即可根据式(9)得到调控函数

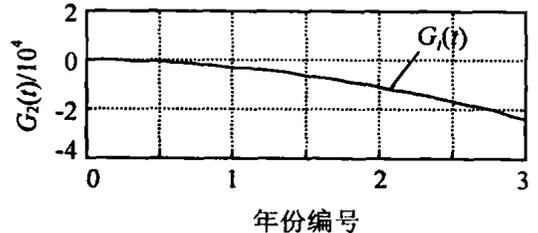
$$\begin{aligned} G_1(t) &= 197.7t^4 - 1127.1t^3 - 2930.8t^2 - 1294.4t, \\ G_2(t) &= 93.5t^4 - 524.3t^3 - 1615.1t^2 - 866.5t, \\ G_3(t) &= 4.4t^4 - 25.2t^3 - 77.0t^2 + 3.4t \end{aligned}$$

根据控制函数, 可得到宏观调控函数的走势, 如图1所示。同时, 可根据调控模型(6)得到宏观调控结果, 如图2所示。

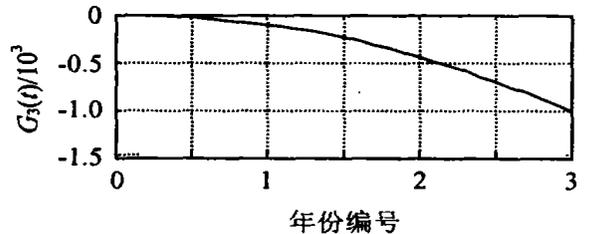
最后, 可根据控制函数对应的影响因素对控制函数进行解释, 并加以实施。解释将涉及到经济学等内容, 这是本文进一步研究的内容。



(a) 国内生产总值



(b) 工业生产



(c) 交通运输电信生产

图2 调控趋势图

(下转第588页)

取 $K^* = [1 \ 9 \ -9 \ 10]^T$, 则 $A^* - K^*C^*$ 为负定的。在仿真实验中, 系统取 $\sigma = 10, b = 8/3, r$ 在 $26.6 \sim 29.4$ 之间随机确定。系统初始条件分别为 $x(0) = (0 \ 1, -0.051, 0.01)^T, z(0) = (5, -5, 0.01)^T$, 同步误差仿真结果如图1所示。

4 结 语

本文的目的在于寻找一种混沌同步的控制方法, 使得系统在参数不能完全确定条件下仍具有良好的同步性能。研究了针对此类系统采用基于非线性观测器设计进行同步控制的可行性, 并通过对 Lorenz 混沌系统的分析和仿真验证了其有效性和一般性。

参考文献(References)

- [1] Pecora L M, Carroll L T L. Synchronization in chaotic circuits [J]. *Physical Review Letter*, 1990, 64(8): 821-824
- [2] Pecora L M, Carroll L T L. Driving systems with chaotic signals [J]. *Physical Review A*, 1991, 44(4): 2374-2378
- [3] Kocarev L, Parlitoz V. General approach for chaotic synchronization with applications to communication [J]. *Physical Review Letter*, 1995, 74(25): 5028-5031.
- [4] Wu C W, Chua L O. Synchronization in an array of linearly coupled dynamical systems [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1995, 42(8): 430-447.
- [5] Peteman D W. High frequency synchronization of chaos [J]. *Physical Review Letters*, 1995, 74(10): 1740-1742
- [6] John J K, Amritkar R E. Synchronization of unstable orbits using adaptive control [J]. *Physical Review E*, 1994, 49(6): 4843-4848
- [7] 关新平, 何宴辉, 范正平. 扰动情况下一类混沌系统的观测器同步 [J]. *物理学报*, 2003, 52(2): 276-279.
(Guan X P, He Y H, Fan Z P. Synchronization of a class of chaotic systems in the presence of perturbation by an observe [J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, 52(2): 276-279.)
- [8] 李国辉, 徐得名, 周世平. 基于状态观测器的参数调制混沌数字通信 [J]. *物理学报*, 2004, 53(3): 706-709.
(Li G H, Xu D M, Zhou S P. A parameter modulated method for chaotic digital communication based on state observers [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, 53(3): 706-709.)
- [9] Samuel Bowong, Moukam Kakmeni F M. Synchronization of uncertain chaotic systems via backstepping approach [J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2004, 21: 999-1011.
- [10] Sundarapandian V. Local observer design for nonlinear systems [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2002, 35: 25-36

(上接第556页)

4 结 语

SCGM $(1, h)$ 刻画了具有“贫”信息、小样本序列数据的社会经济系统的内部结构, 其模型参数反映了系统的内部性质。考虑该类系统应及时感应或控制外部环境变动和外部干扰产生的影响, 根据控制论的思想, 结合宏观经济运行规律、系统动力学理论和系统云模型, 本文提出了系统云灰色调控预测模型, 并对该模型及其解进行了证明, 定义了调控函数和调控效果函数, 求证了上述函数。实例结果表明, 它不仅能对具有“贫”信息、小样本特点的动力学系统进行较为准确的预测, 还能根据其预测结果对系统的影响因素进行宏观控制, 从而为决策者提供一种强有力的决策支持方法。

参考文献(References)

- [1] 王其藩. *高级系统动力学* [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [2] 陈绵云. 制定城市总体规划的灰色系统方法 [J]. *华中理工大学学报*, 1990, 18(3): 1-7.
(Chen M Y. Application of grey system method in overall urban planning [J]. *J of Huazhong University of Science and Technology*, 1990, 18(3): 1-7.)
- [3] 陈绵云. 趋势关联度及其在灰色建模中的应用 [J]. *华中理工大学学报*, 1994, 22(8): 66-68.
(Chen M Y. Tendency correlation and its application in grey system modelling [J]. *J of Huazhong University of Science and Technology*, 1994, 22(8): 66-68.)
- [4] 陈德军, 张玉民, 陈绵云. 数据挖掘的系统云灰色预测方法研究 [J]. *控制与决策*, 2004, 19(8): 26-30.
(Chen D J, Zhang Y M, Chen M Y. A research on method of system cloud gray forecasting in data mining [J]. *Control and Decision*, 2004, 19(8): 26-30.)
- [5] 国家统计局. *中国统计年鉴2000* [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.