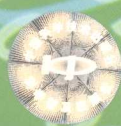


第六届

Annual Academic Conference
for Ph.D. Candidates

博士生学术年会 论文集〈上〉

国务院学位委员会办公室 编
中国科协组织人事部



中国科学技术出版社

第六届博士生 学术年会论文集

〈上〉

国务院学位委员会办公室 编
中国科协组织人事部

中国科学技术出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

第六届博士生学术年会论文集(上下册)/国务院学位委员会办公室,
中国科协组织人事部编. —北京:中国科学技术出版社,2009.2

ISBN 978-7-5046-4962-1

I. 第... II. ①国...②中... III. 科学技术-文集 IV. N53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015533 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

责任编辑 郑洪炜 陈 君 李 剑

封面设计 严佳君

责任校对 赵丽英 韩 玲

责任印制 王 沛

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京国防印刷厂印刷

*

开本:889 毫米×1194 毫米 1/16 印张:72.25 字数:2735 千字

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—300 册 定价:220.00 元

ISBN 978-7-5046-4962-1/N·120

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

《第六届博士生学术年会论文集》

编辑委员会

顾 问 杨 乐

主 编 袁家军

副主编 冯长根 杨玉良

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 俊 王伟中 邓中翰 石治平 杨 劼 吴 跃

张知彬 陈永川 屈冬玉 梁国雄 储富祥 薛勇彪

编务工作组

李 森 中国科协组织人事部部长

王守东 中国科协组织人事部副部长

李桐海 中国科协学会服务中心主任

梁 华 中国科协组织人事部专家联络处副处长

魏 丹 中国科协学会服务中心科技人才服务处副处长

岳文彬 中国科协组织人事部专家联络处干部

张玮琳 中国科协学会服务中心科技人才服务处干部

杨 帆 中国科协学会服务中心科技人才服务处干部

目 录

信息技术与 IT 产业

低维变参数混沌时序的非线性回归递推预测	王永生 范洪达 王建国等(3)
高方向性端射天线阵的设计	姚国伟 薛正辉 李伟明等(16)
二维海面上方电大目标电磁散射特性计算分析	罗 伟 张 民(23)
基于 LSRBF 神经网络的多机协同多目标攻击智能空战决策研究	孙永芹 范洪达(32)
一种新的基于检测统计量的 CFAR 方法	宋玉珍 张 力 曲付勇等(39)
基于模型的舰船目标任意视点视图实时生成方法研究	于吉红 吕俊伟 白晓明等(46)
基于直觉模糊理论的威胁评估研究	张 琳 范文新 余江明等(52)
基于蓝牙的 WPAN 网络数据传输性能研究	张 超 庄奕琪(59)
多方法融合解决噪声图像的降噪问题	蒋永馨 黄 华 王孝通(65)
基于动目标检测的夜间视频实时增强技术	黄 华 王孝通 蒋永馨等(71)
基于 Renyi 二次熵的非高斯噪声主动控制	张兴华 任雪梅(76)
下一代分组传送网 MPLS-TP 的多等级 QoS 模型设计	李 彬 谭代炜 黄善国等(85)
二维三角全息光子晶体中弯曲波导的传输性质	董国艳 蔡履中(93)
成像侦察卫星轨道机动任务规划方法研究	杨海涛 赵洪利(100)
HB-SBR 雷达系统地杂波二维谱特性研究与仿真	王 瑜 尹灿斌 贾 鑫(105)
基于 Timeliner 的航天器自主运行和调度技术研究	高永明 卢 昱(112)
卫星网络中的信任传递量化分析	张志强 王 宇 卢 昱(122)
基于 CALS 和 MAS 的军用航天器技术保障支持系统研究	张树森 郑怀洲 石 鑫(127)
ICCD 微光成像仿真与分析	李迎春 赵洪利 孙华燕等(134)
陆基机动弹道导弹快速发射系统的设计及实现	王海燕 李 霖(140)
特征值滤波在深空阵列信号合成中的应用研究	史学书 王元钦(148)
共形圆阵虚拟阵元波束形成方法研究	倪淑燕 程乃平(154)
宽波束角合成孔径雷达多普勒模糊抑制	尹灿斌 王 瑜 贾 鑫(161)
LEO/MEO/GEO 三层卫星网络管理系统设计与仿真	姚 曜 赵洪利(168)
基于遗传算法的多站无源时差定位站址布局研究	陈 竹 王元钦 杨文革(178)
混沌序列在 OFDM 系统中的应用研究	郭忠海 陈永光 李 琼(185)
基于网络中心战的舰艇编队防空武器协同控制决策研究	陈 健 李登峰(193)
信息化武器装备效能评估系统设计及其关键技术研究	杜 源 李登峰 王永春(198)
信息战条件下舰艇编队防空威胁估计系统分析与设计	王永春 李登峰 杜 源(204)
多信息源目标识别 CC-OWA 集结模型研究	伍之前 李登峰(211)
适用于 VANET 仿真的城市场景生成方法	张国庆 慕德俊 洪 亮等(217)
紫外光非视距应急通信大气信道模拟研究	汪俊良 罗 挺 刘洪娟(224)
关联分类及后处理技术在计算机病毒检测中的应用	叶艳芳 姜青山 黄 锴(231)
基于模糊综合评判的复杂电磁环境中通信分系统效能评估	张国辉 薛 青 魏 阳等(240)

基于定性仿真的非物理结构系统评估方法·····	孙 明 陶慧贤(246)
运转于准三能级的 Nd:LuVO ₄ 被动调 Q 激光器 ·····	何坤娜 高春清 魏志义等(253)
粗糙定性仿真算法的研究·····	韩安媛 王精业(257)
全光 NRZ-DPSK 到 RZ-BPSK 码型转换 ·····	余 宇 张新亮 周恩波等(262)
改进蚁群算法在战时不确定路径规划研究中的应用·····	王 浩 王精业(268)
高功率光纤激光器端面反射系数优化取值区域确定方法·····	胡旭东 宁提纲 陈青艳(276)
基于 DGS 的双频双模转换器设计 ·····	陈小群 翁丽鸿 郭玉春等(286)
基于时频分析的水声信道盲估计·····	王英志 章新华(293)
基于 BSP 模型的分布式虚拟现实并行性研究 ·····	杨学会 谭亚新(303)
作战仿真中基于半自治作战 Agent 的指挥实体研究 ·····	魏 阳 薛 青 雷兵兵等(308)
基于仿真环境的学习分类器系统·····	孟宪权 薛 青 雷兵兵等(316)
光电信息技术军事应用中的数据挖掘·····	唐志武 薛 青 刘向刚等(323)
一种新型的自适应谱聚类算法·····	蔡晓妍 戴冠中 杨黎斌(329)
KCl 作为效率提高剂的有机电致发光器件·····	吕昭月 邓振波(335)
分辨率可调的高速光学成像系统·····	赵小侠 谢永军 赵 卫(343)
协作 Recognition-Primed Decision 模型在海战仿真中的应用 ·····	姜 伟 赵晓哲 郭 锐(348)
基于依存内容单元的金字塔自动摘要评估方法·····	龙 华 何中市 伍 星等(355)
基于粒子系统的三维喷泉实时模拟·····	蒋恒恒 汤宝平 章国稳(361)
基于时间序列分析的动态分布平滑方法·····	黄永文 何中市 王海燕(368)
输电线路直流融冰的临界电流及融冰时间分析·····	范松海 蒋兴良(376)
无线传感器网络中基于非测距技术的定位算法性能分析与改进·····	鲜永菊 田逢春 韩 彪等(386)
浅海无偏 MUSIC 方位估计技术 ·····	张立杰 黄建国 张群飞(395)
基于 Matlab 的爆破飞石预测系统及爆破地震速度的 BP 神经网络预测系统的开发与应用 ·····	魏海霞 陈士海(401)
模糊动态支持向量机研究·····	史广智 胡均川 滕敦明(407)
变速风力发电机组的模糊神经网络控制技术研究·····	刘 军 何玉林 李天舒等(414)

农业现代化与农业新技术

猪 SP-A 基因多态性与呼吸系统疾病的关联性分析·····	乔莉娟 王立贤 杜立新等(423)
论粮食主产区劳动力流动与粮食安全的关系·····	肖双喜(431)
原生质体融合构建蜂蜜桑椹酒酿造酵母的研究·····	陈 娟 阙建全 杜木英等(438)
微波核桃破壳力学性质试验与分析·····	梁 莉 郭玉明 廉晓华(448)
甘肃省木霉菌种多样性调查·····	张 茹 李金花 王 蒂(453)
构建闽台化竞争为互补的农产品贸易机制与模式·····	李 彬 蔡贤恩(450)
全球化背景下的中国品牌农业发展研究·····	谢向英(466)
南方集体林区退耕还林政策对环境影响评价·····	詹黎锋(472)
建立森林防火半专业扑火队的思考·····	张兰花(480)
中国生猪生产支持政策对价格调控的有效性分析·····	杨朝英 徐学荣(485)
家蚕与野桑蚕副肌球蛋白基因的克隆及进化分析·····	徐升胜 李 兵 许西奎等(492)
家蚕乙酰胆碱酯酶基因(<i>Bm-ace1</i> 、 <i>Bm-ace2</i>)的克隆及表达分析 ·····	李 兵 王 东 王燕红等(501)

野桑蚕羧酸酯酶基因 *BmmCarE-4* 和 *BmmCarE-5* 的克隆及组织表达分析

.....	王 东	李 兵	赵华强等(512)
现代农业新技术推广中的农村科技中介组织发展研究.....			李华君(522)
二倍体与四倍体宝塔菜品质分析.....	郭启高	匡 全	李晓林等(527)
果树 <i>LEAFY</i> 同源基因的进化分析.....	何 桥	郭启高	向素琼等(532)
睾丸酮丛毛单胞菌 <i>teiR</i> 基因在类固醇代谢途径中的作用	陈建秋	艾育芳	周以飞等(537)
三峡库区柑橘园土壤供肥特性及其对柑橘植株营养影响研究.....	王成秋	吕家恪	焦必宁等(545)
芸蓼属紫色酸性磷酸酶 12 基因家族的分子进化特征	卢 坤	张 凯	柴友荣等(557)
竹/木复合强化单板层积材热压工艺参数研究	刘焕荣	江泽慧	刘君良等(566)
不同生境蜘蛛种群动态及空间分布型的分析.....	牙森·沙力	学加热	张泽华等(574)
作物生长期土壤温度的动态模拟.....	李彩霞	陈晓飞	孙景生等(581)
中国五大生态类型主要地方马品种的遗传多样性研究.....	凌英会	马月辉	成月娇等(587)
小陇山锐齿栎次生林空间结构特征.....	赵中华	惠刚盈	袁士云等(595)

信息技术与 IT 产业

低维变参数混沌时序的非线性回归递推预测

王永生 范洪达 王建国 刘爱东

海军航空工程学院兵器科学与技术系,山东省烟台市,264001

摘 要 变参数混沌通常不具有稳定的吸引子,当前基于 Takens 嵌入定理的各种预测方法不再适用。本文研究利用最小二乘递推法预测一类低维变参数混沌时间序列,首先分析变参数混沌系统的动力学特性,提出综合利用遗忘因子算法和限定记忆法预测该类非线性时间序列,推导出两种方法相结合的限定—遗忘综合递推最小二乘算法,在引入二次项等高阶项后将其用于低维变参数混沌时间序列预测,对变参数 Henon 映射和变参数 Ikeda 系统混沌时序预测结果说明了该方法的有效性。

关键词 变参数动力学系统 遗忘因子 限定记忆 预测

Predict the time series from low dimension parameter-varying chaotic systems using nonlinear autoregressive RLS algorithms

Wang Yongsheng Fan Hongda Wang Jianguo Liu Aidong

Department of Armament Science and Technology, NAEU, Yantai, Shandong, 264001

Abstract The chaotic systems, whose parameter values changing with time, commonly do not have the invariable attractors shape with time evolution, so its time series can not easily be forecasted by the current methods based on the Takens' embedding theorem. The recursive least squares algorithm (RLS) is improved to predict one kind of chaotic time series from low dimension parameter-varying systems in the paper. The dynamic characteristic of these systems is analyzed firstly; the forgetting factor and the rectangular windows methods are considered to be combined together for forecasting these time series. Then the integrated window-forgetting recursive least squares algorithm with high-order terms, such as quadratic term and cube term, is deduced. The validity of this method is illustrated by the forecasting results on the time series from Henon map and Ikeda system with parameter-varying.

Keywords parameter-varying dynamical system forgetting factor finite memory predict

一、引言

混沌是自然界和人类社会生产生活中广泛存在的一种不规则现象,混沌时间序列预测已经成为一个非常重要的研究方向,在交通运输、金融、农业、水利、电力等国民经济以及控制、信息处理等领域都有重要应用^[1,2]。自 Farmer^[3]等人开始研究混沌系统预测以来,人们在混沌预测理论、方法及应用方面已经做了大量研究工作,当前研究仍主要集中于基于 Takens 定理^[4]考虑的各种预测模型的研究上,建立各种预测理论与方法,如局域预测法、全局预测法、基于 Volterra 级数分解和基于支持向量机技术等非线性预测方法^[5,6]。

揭开了混沌研究的序幕的 Lorenz 方程,虽然最早是 1963 年 Lorenz 研究天气预报问题时提出用于描述大气对流环境的,然而时至今日,也没有出现适合于所有时段的准确的短期天气预报系统。与之情况类似的很多,如金融系统中股指期货的预测研究、交通流量的预测。针对这些复杂性系统的预测理论的深入研究并不多见,致使目前实际应用中很少出现实用并取得显著效益的预测系统。实际问题当中遇到的这些受很多复杂因素影响的系统,难以用非线性的确定性方程描述,往往只具有统计意义上的混沌特性,可以说这是一些近似混沌系统,其特点不明显,具体说就是统计得出的结果与选取的不同统计数据段密切相关。这类问题所具有的特征与变参数混沌系统非常类似,变参数混沌系统更适合于描述这些实际遇到的复杂非线性问题。

混沌系统的预测作为一类非常重要的问题,当前基本上局限于参数不变问题的预测研究,而对实际问题中经常出现的更重要的参数可变混沌系统的预测,研究结果鲜有报道。文献[5~6]虽然提到变参数混沌系统预测复杂性,仍然作为参数不变混沌系统预测处理。本文研究分析变参数混沌系统的动力学特性,提出综合利用遗忘因子算法和限定记忆法预测一类低维变参数混沌时间序列,对两种典型变参数混沌系统进行在线预测。

二、变参数混沌时间序列

对于参数保持恒定的非线性确定性混沌系统,无论是单吸引子 Lorenz 方程、多吸引子 Newton-Leipnik 系统^[7],还是复杂的四翼吸引子^[8]、多涡卷吸引子等系统^[9],在其相空间中奇怪吸引子具有恒定形状,去除初始段后不随时间的延长而发生显著改变,这表明混沌系统全局动力学特性一直保持不变。根据 Takens 嵌入定理,可以由从这些系统中抽取的适当单变量时间序列,选择合适的嵌入维数和时间延迟重构出系统的状态相空间,从而从单变量时间序列中恢复系统的动力学特性,这同时也是目前几乎所有已知混沌预测技术的理论基础。

随着对复杂性问题研究的深入,人们逐渐认识到,采用类似 Lorenz 的这种具有全局恒定形状吸引子的混沌系统也难以描述诸如大气环境等复杂系统。在许多实际系统中,参数总是跟随时间不断变化,特别是在参数变化比较慢的情况下,经常会发生随时间周期性的分叉现象,而且不同于普通的周期性分叉。通常情况下,变参数混沌系统动态行为是充分发展的,暂态行为在每一个参数值会消亡。这类系统随时间延长展现出复杂丰富的动力学特性。在这些变参数混沌系统上,Takens 嵌入定理往往不再成立。下面通过相空间运动轨迹简要分析两类变参数混沌系统的特点。

(一) 变参数 Henon 映射

参数周期微变的 Henon 映射的迭代方程如下^[10]:

$$\begin{cases} x_{k+1} = 1 - A_k x_k^2 + y_k \\ y_{k+1} = B x_k \end{cases} \quad (1)$$

取系统参数 $B = 0.3$, 而 $A_k = 1.37 + 0.05\sin(k/5)$ 是时变的。取相同初始值 $x_0 = 0.2$, $y_0 = 0.3$, 则 $A_k \equiv 1.4$ 的 Henon 映射吸引子和变参数 Henon 吸引子分别如图 1 中(a)和(b)所示。图 1 中(a)所示不变参数 Henon 吸引子的形状保持清晰的分形结构, 迭代次数愈多吸引子形状保持不变, 分形特点更加突出; 而变参数 Henon 相空间轨迹的分形结构变得模糊, 放大图 1(b)中图形局部观察不到清晰的层次结构, 说明系统的动态特性发生不断变化。这种情况的参数变化还没有深刻影响到系统的动力学特性, 因为变参数 Henon 系统仍然是混沌的。

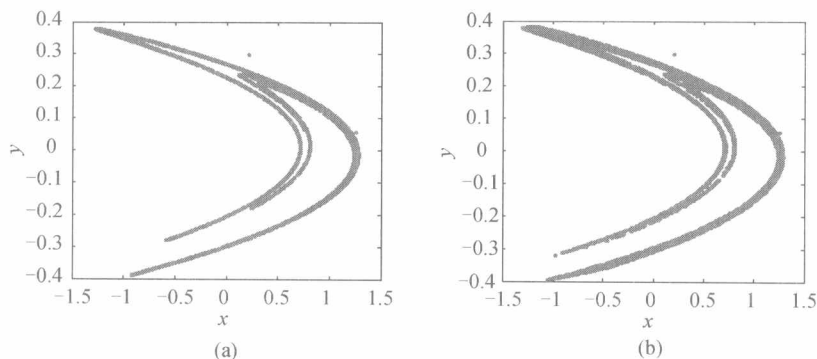


图 1 Henon 映射

(a) Henon 吸引子; (b) 变参数 Henon 相轨迹

(二) 变参数 Ikeda 系统

典型的混沌 Ikeda 系统:

$$\begin{cases} x_{n+1} = 1 + \mu(x_n \cos(t) - y_n \sin(t)) \\ y_{n+1} = \mu(x_n \sin(t) + y_n \cos(t)) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $t = 0.4 - 6/(1 + x_n^2 + y_n^2)$, 取初始值 $x_1 = y_1 = 0.1$, $\mu = 0.9$, $n = 1, 2, \dots$ 图 2(a)为 Ikeda 系统吸引子的形状, 图 2(b)为由 x 分量重构二维相空间中吸引子形状, 吸引子的形状也是不随迭代计算次数的增加而改变。

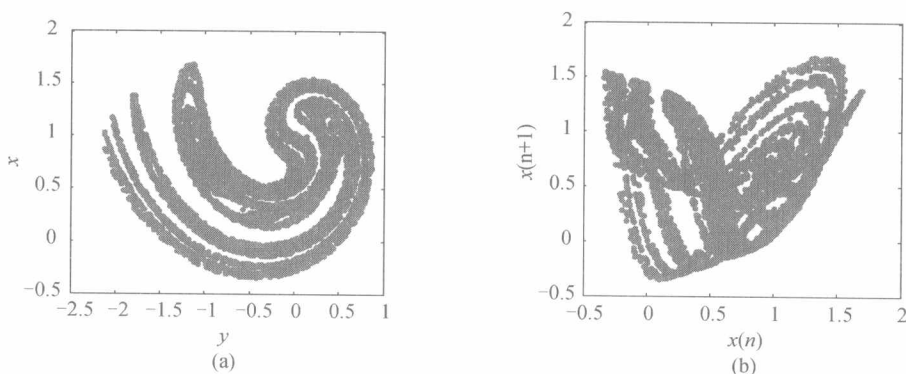


图 2 混沌 Ikeda 系统

(a) 二维吸引子; (b) x 分量重构二维相平面图

当方程(2)中参数 μ 发生慢变时, 得到如下变参数 Ikeda 系统^[5,6]:

$$\begin{cases} x_{n+1} = 1 + \mu_n(x_n \cos(t) - y_n \sin(t)) \\ y_{n+1} = \mu_n(x_n \sin(t) + y_n \cos(t)) \\ \mu_{n+1} = \mu_n + 10^{-4}(1 - 0.5 \sin(n)) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $t = 0.8 - 15/(1 + x_n^2 + y_n^2)$, 取初始值 $x_1 = 0.87, y_1 = -0.4, \mu_1 = -0.34, n = 1, 2, \dots, 17400$ 。与固定参数 Ikeda 系统动力学特性完全不同, 在一些关键迭代计算时刻, 系统的暂态行为在不同参数值会很快消亡。随迭代计算次数增多, 变参数 Ikeda 系统在相空间中轨迹不断发生变化。图 3(a) 为 x 分量 1~8000 点时序图, 图 3(b) 是系统 1~6000 点 $x-y$ 二维相平面图; 图 3(c) 是 6000~8000 点相平面图。

在文献[11]中用 Rosenstein 提出的小数量法计算变参数 Ikeda 系统 1~200 点 x 分量的最大 Lyapunov 指数约为 0.2563; 7101~7600 点 x 分量的最大 Lyapunov 指数约为 0.3199; 8501~9000 点 x 分量的最大 Lyapunov 指数约为 0.1491。以上 Lyapunov 指数分析充分说明变参数 Ikeda 系统前后时段处于不同混沌态和非混沌态, 系统的动力学特性在不断地发生改变。

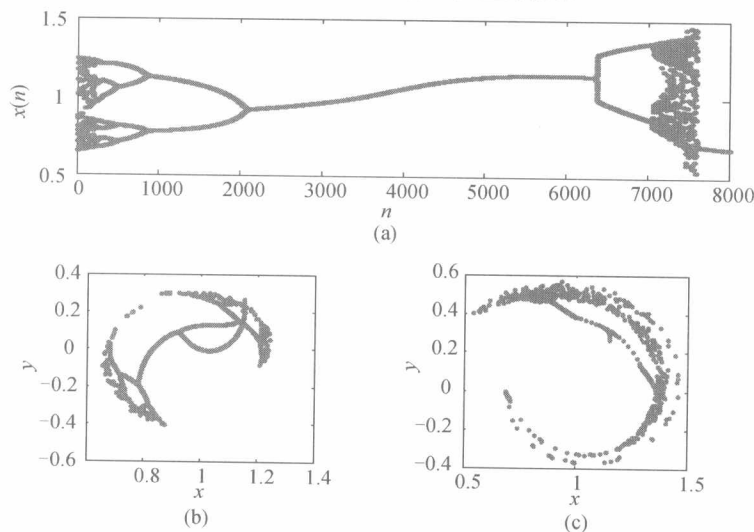


图 3 变参数 Ikeda 系统

(a) x 分量时序图; (b) 1~6000 点二维相平面图; (c) 6000~8000 点二维相平面图

如果采用滑窗滚动最小二乘法预测上述变参数混沌时序, 每预测一步都要操作很高维的矩阵运算, 每步计算量大^[12]; 如果采用滑窗滚动神经网络方法预测, 每预测一步需反复训练网络同样使得计算量非常大, 都不适合于在线预测。这两种措施都会受加窗截取数据长短的影响较大, 同时这些方法对窗内数据等同看待, 无法考虑在截取数据段上系统动态特性的改变影响, 因此不适合于在线估计预测。

三、限定一遗忘综合递推最小二乘法

在控制理论中常常采用最小二乘递推方法在线估计系统的模型参数进行预测控制, 为了能够在线估计时变参数, 又提出两种改进算法: 一是引入遗忘因子, 通过对历史数据的指数加权, 以逐渐消除旧数据影响的渐消记忆法; 二是引入矩形窗, 拨掉部分旧数据, 而只截取一段新数据的限定记忆法。渐消记忆法突出最新数据, 但消除历史数据影响的速度比较缓慢; 限定记忆法消除旧数据影响的速度比较快, 但对所截取的数据同等看待, 不能突出最新数据, 估计结果相当于在矩形窗所对应的时间段上做了平均。本节我们将两种方法综合, 通过快速跟踪估计预测模型的参数实现对低维变参数混沌时间序列的预测, 引入矩形窗以便比较快地消除旧数据的影响; 引入遗忘因子, 通过对历史数据的指数加权以突出数据的最新变化。

由于线性 AR 模型不能用于非线性时间序列的建模,可以考虑引入二次项、三次项等高次项,便于分析下面给出具有二次项的非线性 AR 模型:

$$x_k = a_1 x_{k-1} + \cdots + a_p x_{k-p} + a_{p+1} x_{k-1}^2 + \cdots + a_{p+q} x_{k-q}^2 + e(k) \quad (4)$$

式中: x_k 是 k 时刻系统的输出值; $\{x_{k-1}, \cdots, x_{k-p}, x_{k-1}^2, \cdots, x_{k-q}^2\}$ 是由 k 时刻以前的系统输出值构成; $e(k)$ 是方差为 σ^2 的零均值白噪声,只要能实时估计出模型参数就能实施短期一步预测。令: $w_{k-1} = [x_{k-1}, \cdots, x_{k-p}, x_{k-1}^2, \cdots, x_{k-q}^2]^T$, $\theta = [a_1, \cdots, a_p, a_{p+1}, \cdots, a_{p+q}]^T$ 。现在的目的是在线的估计 θ ,使下面的指标函数为最小:

$$J(n) = \sum_{i=n+1}^{n+N} \alpha^{n+N-i} [x_i - w_{i-1}^T \cdot \theta]^2 \quad 0.95 \leq \alpha \leq 1 \quad (5)$$

式中: α 为遗忘因子; N 表示矩形窗的长度,即每组含有 N 对数据; n 表示第 n 组数据,要求 $n \geq p+q$ 。指标函数进一步可以表示为:

$$\begin{aligned} J(n) &= \sum_{i=n+1}^{n+N} [\alpha^{\frac{1}{2}(n+N-i)} x_i - \alpha^{\frac{1}{2}(n+N-i)} w_{i-1}^T \cdot \theta]^T [\alpha^{\frac{1}{2}(n+N-i)} x_i - \alpha^{\frac{1}{2}(n+N-i)} w_{i-1}^T \cdot \theta] \\ &= (X_n - W_n \theta)^T (X_n - W_n \theta) \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $X_n = [\alpha^{\frac{1}{2}(N-1)} x_{n+1}, \alpha^{\frac{1}{2}(N-2)} x_{n+2}, \cdots, \alpha^{\frac{1}{2}} x_{n+N-1}, x_{n+N}]^T$, $W_n = [\alpha^{\frac{1}{2}(N-1)} w_n, \alpha^{\frac{1}{2}(N-1)} w_{n+1}, \cdots, w_{n+N-1}]^T$ 。现在推导估计模型参数的递推算法^①。

(一) 增加一个新数据

遗忘因子法是每取一对新数据 x_{n+N+1} 就对以前全部残差都乘上一个加权因子 $\alpha^{1/2}$,此时选择的误差准则函数如下:

$$J^*(n+1) = \sum_{i=n+1}^{n+N+1} \alpha^{n+N+1-i} [x(i) - w_{i-1}^T \cdot \theta]^2 = (X_{n+1}^* - W_{n+1}^* \theta)^T (X_{n+1}^* - W_{n+1}^* \theta) \quad (7)$$

式中: $X_{n+1}^* = \begin{bmatrix} \alpha^{\frac{1}{2}} X_n \\ x_{n+N+1} \end{bmatrix}$, $W_{n+1}^* = \begin{bmatrix} \alpha^{\frac{1}{2}} W_n \\ w_{n+N}^T \end{bmatrix}$,这时要求的最小二乘解为:

$$\hat{\theta}_{n+1}^* = (W_{n+1}^{*T} W_{n+1}^*)^{-1} \cdot W_{n+1}^{*T} \cdot X_{n+1}^* \quad (8)$$

推导得到如下方程:

$$K_{n+1}^* = \frac{P_n w_{n+N}}{\alpha + w_{n+N}^T P_n w_{n+N}} \quad (9)$$

$$P_{n+1}^* = \frac{1}{\alpha} (I - K_{n+1}^* w_{n+N}^T) P_n \quad (10)$$

$$\hat{\theta}_{n+1}^* = \hat{\theta}_n + K_{n+1}^* (x(n+N+1) - w_{n+N}^T \hat{\theta}_n) \quad (11)$$

增加一对新数据的上述推导公式其实和经典的遗忘因子最小二乘递推公式完全一致。

(二) 去除一个旧数据

限定记忆法只用最新的 N 个数据,在此之前的数据全部剔除不要,因此取满 N 个数据后每再增加一个新数据就去掉一个最老的数据,那么取到 x_{n+N+1} 后就去掉 x_n 这组数据,此时选择的误差准则函数如下:

$$J(n+1) = \sum_{i=n+2}^{n+N+1} \alpha^{n+N+1-i} [x(i) - w_{i-1}^T \cdot \theta]^2 = (X_{n+1} - W_{n+1} \theta)^T (X_{n+1} - W_{n+1} \theta) \quad (12)$$

式中: $X_{n+1} = [\alpha^{\frac{1}{2}(N-1)} x_{n+2}, \cdots, \alpha^{\frac{1}{2}} x_{n+N}, x_{n+N+1}]^T$, $W_n = [\alpha^{\frac{1}{2}(N-1)} w_{n+1}, \cdots, w_{n+N}]^T$,并有 $\begin{bmatrix} 0_{1 \times 1} \\ X_{n+1} \end{bmatrix} = X_{n+1}^* -$

^① 详细的推导过程见本文附录。

$\begin{bmatrix} \alpha^{\frac{1}{2}N} x_{n+1} \\ 0_{N \times 1} \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} 0_{1 \times (p+q)} \\ W_{n+1} \end{bmatrix} = W_{n+1}^* - \begin{bmatrix} \alpha^{\frac{1}{2}N} w_n^T \\ 0_{N \times (p+q)} \end{bmatrix}$, 这时所求最小二乘解为:

$$\hat{\theta}_{n+1} = (W_{n+1}^T W_{n+1})^{-1} \cdot W_{n+1}^T \cdot X_{n+1} \quad (13)$$

推导得到如下方程:

$$K_{n+1} = \alpha^N P_{n+1}^* w_n (I - \alpha^N w_n^T P_{n+1}^* w_n)^{-1} \quad (14)$$

$$P_{n+1} = (I + K_{n+1} w_n^T) P_{n+1}^* \quad (15)$$

$$\hat{\theta}_{n+1} = \hat{\theta}_{n+1}^* - K_{n+1} \cdot (x(n+1) - w_n \hat{\theta}_{n+1}^*) \quad (16)$$

式(9)~式(11)和式(14)~式(16)就构成了限定一遗忘综合递推最小二乘算法。当遗忘因子 $\alpha = 1$ 时, 限定一遗忘因子综合法就退化为经典的限定记忆最小二乘法。

四、仿真实验

首先采用限定一遗忘综合法对变参数 Ikeda 系统进行预测。选择带有二次项的回归模型, 先选择遗忘因子 $\alpha = 0.9995$, 限定记忆长度 $N = 100$, 由过去的 4 个数据预测将来的数据, 即选择如下预测数据结构: $\{x_{k-1} | x_{k-1}, \dots, x_{k-5}, x_{k-1}^2, \dots, x_{k-5}^2\}$, 得到预测结果如图 4(a)所示。选择带有三次项的回归模型, 先选择遗忘因子 $\alpha = 0.9995$, 限定记忆长度 $N = 100$, 由过去的 4 个数据预测将来的数据, 即选择如下预测数据结构: $\{x_k | x_{k-1}, \dots, x_{k-4}, x_{k-1}^2, \dots, x_{k-4}^2, x_{k-1}^3, \dots, x_{k-4}^3\}$, 得到预测结果如图 4(b)所示。与神经网络方法和支持向量机方法相比, 用递推算法预测变参数 Henon 映射简单有效。

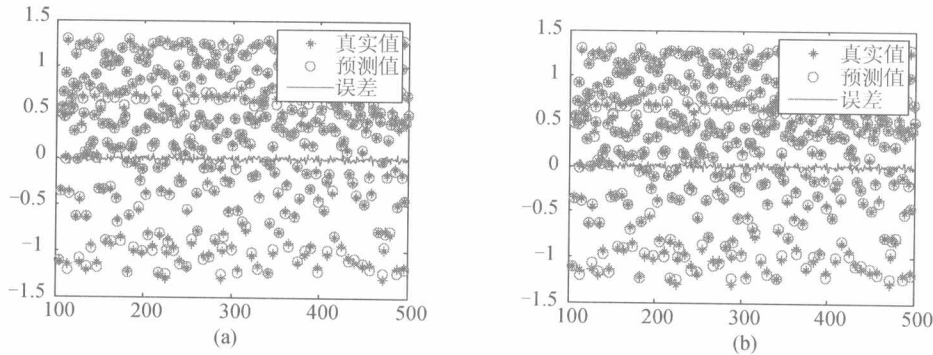


图4 变参数 Henon 系统限定一遗忘综合法预测结果
(a)二次项结果; (b)三次项结果

相对于变参数 Henon 系统的预测而言, 对变参数 Ikeda 系统进行预测是一个更为困难的问题, 在文献[11]中对该问题的神经网络预测情况做了深入研究, 存在的主要问题是系统动力学不断发生变化, 在一段数据上训练后的神经网络对其他数据段根本不具泛化能力。

下面先采用限定记忆法对变参数 Ikeda 系统的 x 分量时序进行预测。选择带有三次项的回归模型, 遗忘因子 $\alpha = 1$, 限定记忆长度 $N = 60$, 由过去的 4 个数据预测将来的数据, 即选择如下预测数据结构: $\{x_{k-1} | x_{k-1}, \dots, x_{k-4}, x_{k-1}^2, \dots, x_{k-4}^2, x_{k-1}^3, \dots, x_{k-4}^3\}$, 得到预测结果如图 5 所示。图 5(a)为整体预测效果, 图 5(b)和(c)给出了两处动态系统急变阶段的预测细节。

再采用限定一遗忘综合法对变参数 Ikeda 系统进行预测。选择带有四次项的回归模型, 遗忘因子 $\alpha = 0.9995$, 限定记忆长度 $N = 50$, 由过去的 5 个数据预测将来的数据, 即选择如下预测数据结构: $\{x_{k-1} | x_{k-1}, \dots, x_{k-5}, x_{k-1}^2, \dots, x_{k-5}^2, x_{k-1}^3, \dots, x_{k-5}^3, x_{k-1}^4, \dots, x_{k-5}^4\}$, 得到预测结果如图 6 所示。图 6(a)为整体预测效果, 图 6(b)和(c)是两处动态系统急变阶段的预测细节。

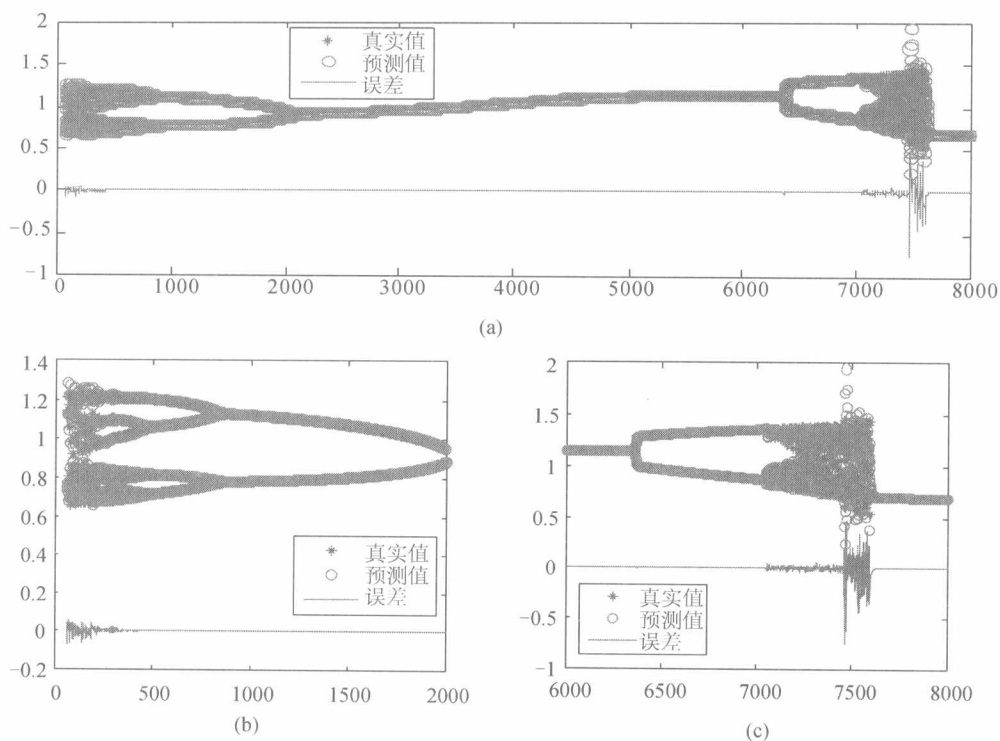


图 5 变参数 Ikeda 系统限定记忆法预测结果

(a) 65~8000 点; (b) 65~2000 点; (c) 6000~8000 点

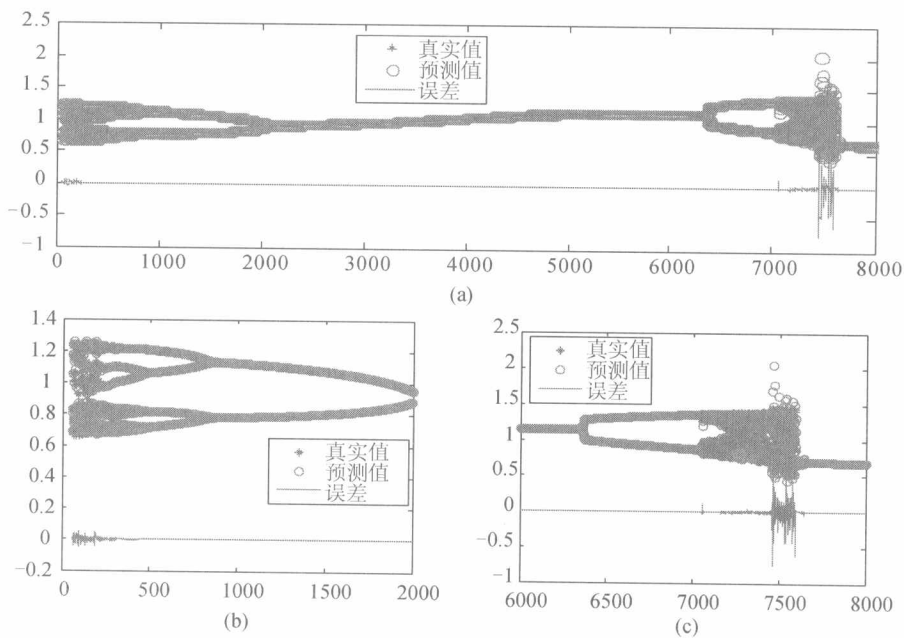


图 6 变参数 Ikeda 系统限定—遗忘综合法预测结果

(a) 65~8000 点; (b) 65~2000 点; (c) 6000~8000 点

由于 Ikeda 系统本身是一个较为复杂混沌系统,利用有限次高阶项拟合很能精确跟踪、预测处于快速变化的混沌态的单变量 x 分量,这也是因为缺少了重要的 y 分量的信息。但是从图 6 中可以看出这

两种方法都能较快地跟踪上变参数 Ikeda 系统的整体动态变化,另外从图 6 所示两处重要的细节之处可以看出本文方法的有效性。

五、结束语

本文阐述了变参数混沌时间序列预测的重要性,并针对低维变参数混沌时间序列提出利用递推预测算法进行预测研究。递推算法相对于滑窗滚动预测方法,计算量较小,适合于在线预测,为快速跟踪系统由于参数变化导致的系统动态特性的变化,在递推最小二乘法的基础上推导了限定一遗忘综合递推算法。给出了两类典型的变参数混沌时间序列,其中变参数 Henon 映射系统的动态特性没有发生深刻改变,而变参数 Ikeda 系统的动态特性随参数的慢变不断发生质的改变,在混沌态和非混沌态之间跃迁变化。最后用本文方法对上述两种变参数混沌时间序列预测都取得了较好的预测效果。

参考文献

- [1] 蒋海峰,魏学业,张屹. 基于加权一阶局域法的短时交通流量预测的研究. 2005 全国博士生学术论坛:交通运输工程学科论文集. 2005:1063-1066.
- [2] 李英,刘豹,马寿峰. 交通流时间序列中混沌特性判定的替代数据方法. 系统工程,2000,18(6):53-57.
- [3] FARMER J D, SIDOROWICH J J. Predicting chaotic time series. Phys Rev Lett, 1987, 59:845-848.
- [4] TAKENS F. Detecting Strange Attractors in Turbulence, Lecture notes in mathematics. Vol. 898, Dynamical systems and turbulence. Springer, Berlin, 1981:366-381.
- [5] XIAO FEN, GAO XIE PING. An approach for short-term prediction on time series from parameter-varying systems. 软件学报, 2006, 17(5):1042-1049.
- [6] 崔万照,朱长纯,保文星,刘君华. 混沌时间序列的支持向量机预测. 物理学报, 2004, 53(10):3303-3310.
- [7] LEIPNIK R B, NEWTON T A. Double strange attractors in rigid body motion. Phys. Lett. A, 1981, 86:63-67.
- [8] 王繁珍,齐国元,陈增强,袁著祉. 一个四翼混沌吸引子. 物理学报, 2007, 56(6):3137-3144.
- [9] 王发强,刘崇新. 一类多折叠环面多涡卷混沌吸引子的仿真研究. 物理学报, 2007, 56(4):1983-1987.
- [10] 叶美盈,汪晓东,张浩然. 基于在线最小二乘支持向量机回归的混沌时间序列预测. 物理学报, 2005, 54(6):2568-2573.
- [11] 王永生,孙瑾,王昌金,范洪达. 变参数混沌时间序列的神经网络预测研究. 物理学报, 2008(待发表).
- [12] 李爱国,覃征. 滑动窗口二次自回归模型预测非线性时间序列. 计算机学报, 2004, 27(7):1004-1008.

作者简介 王永生,讲师,研究方向:通信与信息系统。电话:13001615075;E-mail:hjhywys@sohu.com。

范洪达,教授,博导,研究方向:通信与信息系统。电话:0535-6637609。

王建国,副教授,研究方向:火力与指挥控制系统。电话:0535-6637608。

刘爱东,副教授,研究方向:信号处理及嵌入式系统。电话:13583516790。

附录:限定一遗忘综合递推最小二乘算法^①

考虑如下系统:

$$x(k) = a_1 x(k-1) + a_2 x(k-2) + \cdots + a_m x(k-m) + e(k)$$

^① 为便于专家审稿,在附录中给出了“限定一遗忘综合递推最小二乘算法”详细推导过程,发邮件至 hjhywys@sohu.com 可以索要本文 Matlab 源代码。