

中国自动化学会青年工作委员会系列丛书

《自动化理论、技术与应用》

中国自动化学会第十四届青年学术会议

论 文 集

主 编：李小坚 谭 民

副主编：王贵和 左 信 孙 力

西苑出版社

一九九九年六月

图书在版编目(CIP)数据

中国自动化学会第十四届青年学术会议论文集/李小坚等

主编. —北京: 西苑出版社, 1999.7

(自动化理论技术与应用 ;6)

ISBN 7-80108-250-8

I. 中... II. 李... III. ①自动化技术-学术会议-文集 IV.

TP1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 28129 号

中国自动化学会青年工作委员会系列丛书:《自动化理论、技术与应用》

中国自动化学会第十四届青年学术会议论文集

主 编 李小坚 谭 民

副 主 编 王贵和 左 信 孙 力

出版发行 西苑出版社

通讯地址 北京市海淀区永定路 7 号 邮政编码 100039

电话 68173419 传真 68173417

印 刷 中国航天工业总公司三一〇所印刷厂印刷

开 本 787X1092 1/16 印张 29.5

印 数 001-400 册 字数 730 千字

1999 年 6 月第 1 版, 1998 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-80108-250-8/TP.02

定价: 80.00 元

(凡西苑版图书有缺漏页, 残破等质量问题本社负责调换)

内 容 简 介

本书系中国自动化学会青年工作委员会组织编写的《中国自动化学会第 14 届青年学术会议论文集》，收录了第 14 届青年学术交流会论文 102 篇。内容涉及自动化理论、技术与应用和相关领域，主要包括：线性系统与非线性系统；自适应、鲁棒控制和预测控制；智能控制、模糊控制、专家控制、神经网络；模式识别、机器人、人工生命；离散事件系统（FMS/CIMS）、调度、决策、集成系统；故障检测与可靠性；检测技术与自动化装置；工业过程控制、计算机控制；自动化技术与计算机应用；自动化教学与管理等十个方面的工作。

本书可供从事自动化领域的高等院校师生、研究院所研究人员以及有关单位工程技术人员参考。

前 言

半个世纪以来,自动化发挥了越来越重要的作用。自动化是现代化的标志。自动化理论、技术与应用成果改变了我们的世界。今年,我国主办第14届国际自动控制联合会(IFAC)世界大会,这是世界自动化的盛会,也是中国自动化难得的机遇。届时,中国自动化学会第14届青年学术年会召开,不仅可以促进青年科技人员的相互交流,也提供了向国内外专家学者学习的机会,以期提高青年自动化人才的成,使之能够走向国际舞台。

本届青年年会由中国自动化学会、中国自动化学会青年工作委员会主办,中国科学院自动化所、北京电子科技学院和石油大学协办,北方工业大学承办。本届年会在自动化学会青年工作委员会直接领导下,得到青年工作委员会各位委员的大力支持。自1998年年底向各单位及个人发出征文通知,又在《自动化学报》、《控制与决策》、《模式识别与人工智能》等杂志上刊登征文通知。共收到来自全国100多所高等院校、科研机构和企业论文160余篇。在这些论文中有不少研究项目得到了国家自然科学基金和国家863计划以及部委、省、市科研基金的支持,具有较高学术水平;有些是青年科技工作者在基层从事的研究与开发工作;有的获得了国家、部委级科技奖项,也有获得明显经济效益的研究课题。

本论文集收录了100余篇论文。内容包括:1.线性系统与非线性系统理论;2.自适应、鲁棒、预测、最优控制;3.智能控制、模糊控制、专家控制、神经网络;4.模式识别、机器人、人工生命;5.离散事件系统(FMS/CIMS)、调度、决策、集成系统;6.故障检测与可靠性;7.检测技术与自动化装置;8.工业过程控制、计算机控制;9.自动化技术与计算机应用;10.自动化教学与管理等十个方面。

中国自动化学会对本届青年年会给予了高度重视,学会各级领导和老一辈科学家对会议的筹备和组织工作给予了热情关怀和精心指导。为鼓励年轻人积极参加国际学术交流,特别安排本届青年年会与第14届国际自动控制联合会(IFAC)世界大会开会时间衔接,并为国内自动化青年学者提供参与此次国际盛会之便利。北方工业大学领导对本次青年年会的组织筹备工作给予了大力支持,中国科学院自动化研究所、北京电子科技学院、石油大学等协办单位给予积极支持和密切配合。西苑出版社领导杨宪金社长热心关照,责任编辑李晓明主任认真负责为本书的出版付出了很多心血,肖秀玲、刘凤然同志为本书的编排工作付出了辛勤劳动和汗水,中国航天工业总公司三一〇所印刷厂提供了帮助。在此,我们向所有关心、支持和帮助本届青年年会的领导、前辈和朋友们表示最诚挚的谢意。

自动化适应了人类社会的需求而发展,传统的自动化必然走向智能自动化。当今,我们面临着越来越复杂的社会和系统,要充分注意系统中的复杂性问题,从简单到复杂,又从复杂到简单,循环往复,这是人类认识世界和改造世界的过程。智能自动化与信息技术在即将到来的世纪将会有更大的发展。

“长江后浪推前浪”,自动化事业的未来属于青年一代。中国从事自动化的年轻同志要继承和发扬老一辈所开创的美好事业,脚踏实地,不断努力,开拓创新,走向世界,勇攀高峰,迈向新世纪。

中国自动化学会第14届青年学术年会组织委员会

1999年6月15日

热烈祝贺

国际自动控制联合会

第 14 届世界大会

1999 年 7 月 5-9 日

隆重召开

Congratulation To

IFAC 14th World Congress

July 5-9,1999

目 录

1. 线性系统与非线性系统理论

非线性自适应反馈控制器的设计与应用	丛 爽	谢亮亮	(1)
2-D 系统控制能量受限下的能达集	赵胜民	唐万生	(6)
线性系统的 ε 分解	赵 明	陈雪波	(11)
多区域重叠互联电力系统的结构分析	陈雪波	李小华	(15)
基于 PID 控制的人纯滞后串联补偿的研究	党选举	谭永红	农 毅 (20)
Control of Time-varying Uncertain Nonlinear Systems with a Triangular Structure	鲁守银	姜葵峰	(26)
Absolute Stability of General Lurie Type Indirect Control Systems	甘作新	葛渭高	赵素霞 仵永先 (32)

2. 自适应、鲁棒、预测、最优控制

非线性系统的自适应控制综述	鲍震宇	周东华	顾 建	孟 磊	(36)
非线性系统的鲁棒控制研究	张凌波	吴 敏	桂卫华		(40)
Predictive Control in Fuzzy Dynamic Environment	李少远		席裕庚		(46)
遗传算法在多变量模糊模型预测控制中的应用	吴 刚	孙一康	刘庆文		(51)
遗传算法的特征及障碍物回避路径规划问题的最优解探索 ·	黄昱珅	韩生廉	胡国四		(56)
自抗扰控制器可调参数的一种整定方法	顾 农	钟秋海	亢晋立		(61)
预测控制在智能楼宇空调系统中的应用	刘作军	王晓晔	张雪萍		(65)

3. 智能控制、模糊控制、专家控制、神经网络

不确定时滞系统的稳定化模糊控制器设计	韩安太	俞 立	(69)
基于小波理论的多分辨率多传感器数据融合	胡战虎	李言俊	(74)
基于模糊规则的变结构控制系统的品质控制	张金明	李人厚	张平安 (79)
综合模糊控制方法在电磁轴承系统中的应用	陆晓峰	吕振肃	(85)
带有滞后的 Hopfield 神经网络的指数衰减估计	许益芳	胥布工	(89)
权值初值幅值和隐层节点数对三层 BP 网络性能影响的实验研究	段少杰	徐立新	马东升 (93)

人工神经网络在经济预测中的应用 王 庆 刘震宇 (99)

A Neural Network Algorithm for the Simplified TS Type Fuzzy Inference
..... 田永青 等 (104)

The Stability in Neural Networks with Delays 刘德华 等 (109)

基于模糊推理神经网络的工作识别系统 李树涛 王耀南 孙 炜 毛建旭 (115)

状态与控制输入不确定多时滞系统基于观测器的鲁棒 H_{∞} 控制
..... 关新平 刘奕吕 赵志成 段广仁 (119)

模糊神经网络补偿器克服摩擦干扰的研究 何 波 姜复兴 (125)

4. 模式识别、机器人、人工生命

水下自主航行器的神经网络鲁棒自适应控制 施 阳 穆春棣 (130)

机器人手眼无标定协调系统的三维运动跟踪:固定单目视觉反馈 苏剑波 席裕庚 (136)

一类刚性空间机器人的非光滑混合控制 兰春华 洪奕光 秦化淑 (140)

基于 AD2S80A 的高精度位置检测系统及其在机器人控制中的应用 .. 周凤余 李贻斌 (144)

体操机器人的摇起控制策略 赖旭芝 蔡自兴 (151)

基于模糊识别的图像边缘检测方法 黎 旭 (155)

虚拟现实基于立体视觉 3D 建模及绘制算法 方立雄 孙季丰 方少元 (159)

5. 离散事件系统、调度、决策、集成系统

CIMS 技术的研究现状与发展趋势 范玉顺 陶 丹 (163)

CIPS 的设计和实现策略 席裕庚 曲润涛 杜秀华 (169)

流程工业系统集成现状与发展 高春华 王 慧 李 平 宋执环 (175)

批处理生产过程的混合 Petri 网 (CTHPN) 模型 吴亚丽 曾建湖 (180)

基于多 Agent 系统结构的智能制造系统的分析与建模 李高正 师汉民 (185)

支持并行工程的多主体协作体系 刘 志 张守辉 高 济 (190)

TM “一卡通”信息集成管理系统 王红艳 俞吉祥 韩 宁 耿鼎发 (195)

楼宇自动化系统的设计 魏应彬 康耀红 史小宏 杨厚群 胡 嘉 刘扬帆 (200)

造纸厂热能调度问题的研究 高美凤 须文波 (205)

6. 故障检测与可靠性

一种因果故障诊断方法中故障源候选集的排序方法研究
..... 王庆林 薛 飞 陈锦娣 李 宁 (210)

故障诊断技术在地震分区预报中的应用	刘永强	戴英华	金学中	(214)
设备具有混合故障模式的费用模型			高 崎	(218)
飞机交流电源系统可靠性计算	陶建武	常文秀	石 宇	(222)
基于 WINDOWS 的汽轮发电机组转子机械故障模糊诊断系统	谢诞梅	杨 俊	刘先斐	王建梅 (226)
管理信息系统中服务器容错与磁盘阵列技术的集成	周新莲		石春和	(230)

7. 检测技术与自动化装置

移动物体的超声波测量	张晓峰	王大海	刘艳霞	(233)
超声波车辆检测中的抗干扰技术	张晓峰	王大海	刘艳霞	(237)
基于 GPS 的电力系统电压监测的研究		赵 玲	齐 俊	(241)
ISA 总线与高速数据采集卡的接口技术	王会霞	刘教民	王晓宏	孙壮志 (245)
新型单片机 DS87C520 在高速数据采集系统中的应用	王晓宏	刘教民	王会霞	孙壮志 (249)
闪速炉反应温度监测系统的研究			王景中	(254)
用信号流图和积分器设计开关电流滤波器			程代伟	(258)
基于 GPS 的电力系统实时相角测量研究			顾和荣	(264)
异步电动机节能控制	刘志坚	黎 英	时维国	(269)
一种新型电梯门机验动系统的应用		周 霞	常呈建	(274)
拟合线性函数算法在测控系统中的应用		黄采伦	彭华林	(279)
具有冷端温度自动补偿功能的测温仪表		左 岐	刘凤然	(283)

8. 工业过程控制、计算机控制

并行串级控制系统研究与应用	朱木洪		祝和云	(287)
FF 现场总线系统之链路活动调度器功能分析	王 普		郭 民	(292)
现场总线 (FieldBus) 及其对 DCS 的挑战	赵瑞颖		黄圣乐	(296)
INTOUCH 在白灰竖炉监控系统中的应用	孙海清		李真福	(300)
延迟焦化装置液体产品收率模型的开发	张克进		俞金寿	(303)
加氢裂化柴油倾点软测量与在线校正	仲 蔚		俞金寿	(307)
供水调度计算机监控系统	王宏刚	徐玉斌	曾建潮	(311)
循环冷却水恒压恒水位供应系统的自动控制			史美官	(314)
PLC 在模块式风冷冷 (热) 水机组中的应用			史美官	(318)
CAS-OB 钢包精炼炉自动控制系统开发	何 平	米谷明 等		(321)
热连轧精轧机组设定控制算法的仿真研究	赵志城	张井岗	曾建潮	(327)
Automatic Design Methods of Bank_to_Turn Missiles Autopilot	Guo Yuchun	Sun Lianju	Dai Zongli	Jiang Yong (332)

基于现场总线技术的图形组态软件的开发 孙江宁 李小坚 王 普 郭 明 (340)

集中式橡胶硫化微机监控系统 徐文尚 (345)

9. 自动化与计算机应用

基于 Socket 技术 Client/Server 模式的控制仿真培训系统的设计
..... 谢 晖 马润津 曾凡峰 (349)

基于虚拟实验室的电子设计与测试技术及电路分析方法 欧青立 李仁发 黄 丹 (354)

利用 ASP 实现 Web 页面动态交互 杨厚群 魏应彬 黄健青 邢海燕 邢诒杏 (358)

战场态势实时闭环控制系统 赵姝明 龚至豪 陈 杰 (364)

面向对象的柔性设计与控制 王培进 宋宜斌 李刚民 (369)

基于浏览器的生产过程监控与管理系统的实现 李小坚 刘炳兴 (372)

船舶避碰智能自动化策略及其模拟研究 李丽娜 曾华岚 (376)

模糊控制技术在油轮辅锅炉水位控制中的应用 王春芳 邹哲明 (380)

基于网络的数据库开发技术 彭 晖 (384)

神经网络在加氢裂化分馏塔航煤干点估计中的应用 翁尚雄 刘爱伦 俞金寿 (388)

瞬态瑞雷面波频谱分析技术在公路工程质量检测中的应用 孙朝云 沙爱民 (392)

汽车导向行驶系统综述及导航电子地图 巨永锋 师莉萍 (396)

TMS320C40 在视频图象处理中的应用 刘教民 等 (400)

动态图象的高速采集与处理研究 刘教民 等 (404)

温度图象处理技术的研究与应用 王景中 徐小青 (409)

电子式多用户电能表及远方抄表管理系统 公茂法 周凤余 郭银景 (413)

初级智能化建筑设计及实施 杨 晃 (417)

10 教学与管理

一种基于积件思想的多媒体辅助教学通用开发系统的研究
..... 齐晓慧 朱奎宝 陈自立 孟晓军 (419)

体育成绩管理信息系统开发与应用 周源邵 周艳明 (422)

WWW 资源检索系统与远程教学 贺 萍 (425)

浅谈抽象思维方法在计算机学习与研究中应用 周艳明 周源邵 梁建秀 (429)

利用现代化管理与工业自动化技术推动经济发展和社会进步 刘成竹 (434)

《飞机维护规程管理系统》程序设计 陶建武 颜 辉 石 宇 (439)

环 Zn 上的代数计算实现 姚新钦 (443)

电台广播网络设计方案 温建华 (447)

基于关联分析方法的 FoxPro 系统及其应用 赵菊兰 李喜成 (450)

Systematical Analysis and Integrated Control of Regional Environmental
Pollution of Benxi City Xikun Li Jinghui Chen (454)

关于软件工程发展演变的分析 马忠祥 (458)

非线性自适应反馈控制器的设计与应用*

从 爽

谢亮亮

(中国科学技术大学自动化系 合肥 230026) (中国科学院系统科学研究所 北京 100080)

摘 要 本文提出对结构和参数完全未知的离散时间不确定非线性系统的反馈控制方法, 并针对运动控制中实际受非线性摩擦力影响的低速跟踪系统具体的控制器的设计, 利用 MATLAB 环境下 SIMULINK 仿真来检验其控制效果, 最后给出结论。

关键词 自适应控制 非线性系统 运动控制

引 言

自适应控制以能够自动调整控制器本身的结构(或参数)以适应被控对象及环境变化在现代控制论、稳定性理论、系统辨识、参数估计、随机控制以及微电子、电子计算机技术的不断发展中已成为控制理论中的主要组成部分。它对处理具有不确定性系统是一个强有力的工具, 并且自 70 年代末就已取得了许多进步^[1、2、3、4]。但是, 迄今为止, 所有理论和方法都是针对线性未知参数系统的, 而且已有的关于自适应非线性控制的结果多是针对连续控制系统的^[5], 这些结果一般不适用于采样数据控制系统^[6]。国内有关的理论研究或仅考虑连续时间控制器^[7], 或严格的理论结果有待建立^[8]。

本文提出对结构和参数完全未知的离散时间不确定非线性系统的反馈控制方法, 并针对运动控制中实际受非线性摩擦力影响的低速跟踪系统具体的控制器的设计, 利用 MATLAB 环境下 SIMULINK 仿真来检验其控制效果, 最后给出结论。

1 理论的阐述

考虑下述离散时间非线性动力学控制系统^[9]:

$$y_{t+1} = f(y_t) + u_t + \omega_{t+1}, \quad t \geq 0, \quad y_0 \in \mathbb{R}^1 \quad (1)$$

其中, $\{y_t\}$ 和 $\{u_t\}$ 分别是系统的输出和输入信号, 非线性函数 $f(\cdot): \mathbb{R}^1 \rightarrow \mathbb{R}^1$ 完全未知, ω_t 是数值未知但具有 $\omega > 0$ 的有界噪声序列, 即:

$$|\omega_t| \leq \omega, \quad \forall t \geq 0 \quad (2)$$

此系统中的未知函数 $f(\cdot)$ 满足下列泛化 lipschitz 连续条件:

$$(C1) \quad |f(x) - f(y)| \leq L|x - y| + c, \quad L \geq 0, \quad c \geq 0, \quad \forall (x, y) \in \mathbb{R}^2$$

当 $c = 0$ 时, 上式即变为标准的 lipschitz 条件。所以 c 是反映函数 $f(\cdot)$ 的可能不连续的一个量。

指定: $F(L, c) \triangleq \{f \in F: f \text{ 满足条件 } (C1)\}$ (3)

很明显, $F(L, C)$ 相对于 L 和 C 是非递减, 的即有:

本研究获中科院重点项目基金资助

$$F(L_1, c_1) \subseteq F(L_2, c_2), \text{ 对于 } L_1 \leq L_2, c_1 \leq c_2 \quad (4)$$

既然 $f(\cdot)$ 是完全未知的, 唯一可利用的是观测到的系统输出信号。所以我们的目的是: 基于对到 t 时刻为止所观测的输出数据 $\{y_i, i \leq t\}$, 设计出使系统稳定的, 并能够跟踪参考数值 y_t^* 的控制输入 $u_t, t \geq 0$ 。

$$\text{首先引入某些记号: } \bar{b}_t \triangleq \max_{0 \leq i \leq t} y_i, \quad \underline{b}_t \triangleq \min_{0 \leq i \leq t} y_i, \quad t \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{以及 } i_t \triangleq \arg \min_{0 \leq i \leq t-1} |y_t - y_i|, \text{ 即: } |y_t - y_{i_t}| = \min_{0 \leq i \leq t-1} |y_t - y_i|, \quad t \geq 1 \quad (6)$$

$$\text{在任一采样时间 } t \geq 1, f(y_t) \text{ 的估值被定义为: } \hat{f}_t(y_t) \triangleq y_{i_t+1} - u_{i_t} \quad (7)$$

$$\text{通过(1)式, 上式可以写成如下形式: } \hat{f}_t(y_t) = f(y_{i_t}) + \omega_{i_t+1}, \quad t \geq 1 \quad (8)$$

$$\text{引入记号: } u_t' \triangleq -\hat{f}_t(y_t) + \frac{1}{2}(\underline{b}_t + \bar{b}_t), \quad t \geq 1; \quad (9)$$

$$u_t'' \triangleq -\hat{f}_t(y_t) + y_t^*, \quad t \geq 1 \quad (10)$$

那么反馈控制律定义为: $u_0 = 0$,

$$u_t \triangleq \begin{cases} u_t', & \text{当 } |y_t - y_{i_t}| > \varepsilon \text{ 时,} \\ u_t'', & \text{当 } |y_t - y_{i_t}| \leq \varepsilon \text{ 时,} \end{cases} \quad t \geq 1 \quad (11)$$

其中 $\varepsilon > 0$ 可以任意选择。上式中 u_t' 的主要目的是用于使系统稳定; 当满足 $|y_t - y_{i_t}| \leq \varepsilon$ 时, u_t'' 的作用使系统输出 $\{y_t\}$ 跟踪 $\{y_t^*\}$ 。

3 运动控制中低速跟踪器的设计

物体运动在零速度附近产生的非线性摩擦力, 是运动物体所固有的特性, 存在于定位控制、低速和速度变向的伺服系统中。即使改变阻尼、刚度、边界润滑等因素, 也很难消除由非线性摩擦力而引起的振动或“死区”现象。这类问题不仅在滑动或电机旋转的机械中广泛地存在, 而且在机器人、天文望远镜、无线电天线、精密机床等高精度自动化的设备中, 要求稳态误差的高精度, 动态响应的快速性以及対系统参数变化和不确定扰动的鲁棒性, 使得基于数学模型的传统控制理论, 对被控对象中的非线性、时变性、随机干扰以及本身参数的摄动性无能为力。

下面以典型的电流型控制的直流电机的机电运动方程为例, 运用上节提出的离散系统的非线性反馈控制理论, 具体设计消除非线性摩擦力、跟踪系统参考输入的自适应控制律。

考虑下列具有未建模动态特性的机电系统:

$$J \frac{d\omega}{dt} = -F\omega + iK_t - T_f(\omega) \quad (12)$$

其中, ω 和 i 分别为系统的输出角速度和输入电流信号; F 为粘摩擦系数; J 为总惯量; K_t 为电流系数; T_f 为结构和参数均未知的非线性静、动摩擦力函数。

令 $u = i$, $y = \omega$, 并在系统运动的线性区域, 对实际系统输入伪随机二进制序列 (PRBS), 记录其输出, 采用标准的参数辨识公式, 利用适当的软件包 (如 MATLAB 环境下的辨识工具包), 可辨识出系统线性部分模型的基本形式为:

$$y_t = \frac{B}{A} z^{-d} u_t' + \frac{C}{A} \quad (13)$$

其中,

$$A = 1 + a_1 z^{-1} + \cdots + a_{n_a} z^{-n_a},$$

$$b = b_0 + b_1 z^{-1} + \cdots + a_{n_b} z^{-n_b},$$

$$c = 1 + c_1 z^{-1} + \dots + c_{n_c} z^{-n_c},$$

z^{-1} : 后向延迟因子; d : 延迟周期数。

反馈系统结构方框图如图 1 所示。

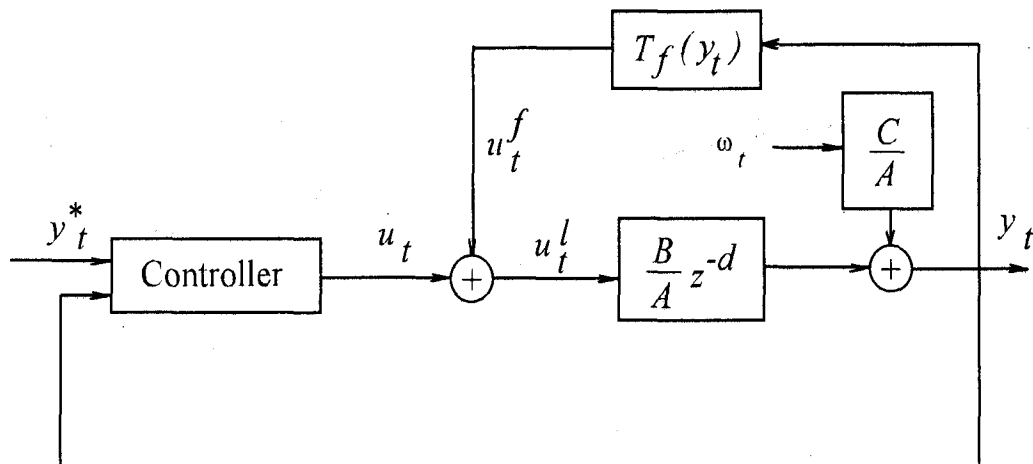


图 1 反馈系统结构图

由方程(13)以及结构图 1 可得: $u_t^l = u_t + u_t^f$, 而 $u_t^f = T_f(y_t)$ 。

$$\begin{aligned} y_{t+d} &= \sum_{i=1}^{n_a} -a_i y_{t-i} + B(u_t + u_t^f) + C\omega_{t+d} \\ &= \sum_{i=1}^{n_a} -a_i y_{t-i} + BT_f(y_t) + \sum_{j=0}^{n_b} b_j u_{t-j} + C\omega_{t+d} \\ &= f(y_t) + \sum_{i=1}^{n_a} -a_i y_{t+d-i} + \sum_{j=0}^{n_b} b_j u_{t-j} + C\omega_{t+d} \end{aligned} \quad (14)$$

根据上节所提出的反馈自适应控制律理论, 令

$$\hat{f}(y_t) \triangleq y_{t+d} - \sum_{i=1}^{n_a} -a_i \hat{y}_{t+d-i} - \sum_{j=0}^{n_b} b_j u_{t-j} \quad (15)$$

结合(14)式, 对任意 $i_t < t - d$, 有下式成立:

$$y_{t+d} = f(y_{i_t}) + \sum_{i=1}^{n_a} -a_i \hat{y}_{t+d-i} + \sum_{j=1}^{n_b} b_j u_{t-j} + C\omega_{t+d} \quad (16)$$

所以

$$\hat{f}(y_{i_t}) = f(y_{i_t}) + C\omega_{t+d}$$

由此可得控制律为:

$$u''_{i_t} = u_{i_t} + \frac{1}{b_0} \sum_{j=1}^{n_b} b_j u_{t-j} + \frac{1}{b_0} \left(\sum_{i=1}^{n_a} -a_i \hat{y}_{t+d-i} + y_{t+d}^* - y_{t+d} \right) \quad (17)$$

4 仿真实验

本节将根据反馈自适应控制理论设计出的控制器应用到具体的实际计算机速度控制系统中。系统是由 PWM 功率放大器、电流控制的直流电机、12 位的 A/D、D/A 转换板, 以及计算机组成。

系统采样周期为 5 毫秒。该系统在数字幅值为 ± 300 的输入信号的响应范围内的开环输入/输出特性中, 由非线性摩擦力所造成的死区占整个行程的 50%, 如图 2 所示。从图中可以看出系统在对称输入信号的作用下, 其输出响应是不对称的。

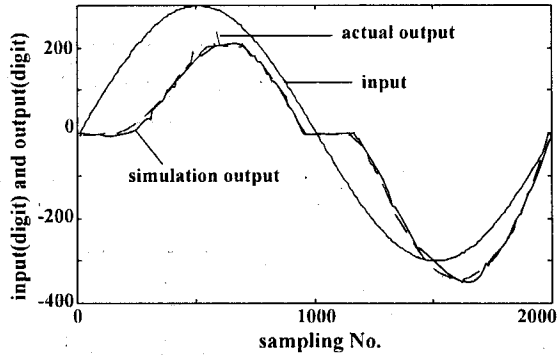


图 2 被控制系统的输入/输出特性

通过对实际系统的输入/输出信号的参数辨识, 获得线性系统山模型为:

$$\begin{aligned} A_+ &= 1 - 0.9931z^{-1}, \quad B_+ = 0.0102; \\ A_- &= 1 - 0.9910z^{-1}, \quad B_- = 0.0143; \\ d &= -3 \end{aligned}$$

由公式 (17) 得稳定时的控制律为: $u''_t = u_t + \frac{1}{b_0}(y^*_{t+3} - y_{t+3})$ (18)

此公式是通过令 $t+3$ 时刻的输出值等于期望输出, 而前一时刻 $t+2$ 的输出不再起作用获得的。

仿真实验用的参考输入为周期为 10 毫秒, 数字幅值为 ± 300 的正弦信号。由于在整个输入信号的 2000 个采样中, 只有第一个 1/4 周期里的 500 个采样点是单值的, 其他三个 1/4 周期均是第一个 1/4 周期信号的对称点。所以 i_t 的选择可以始终在前 500 个观测点中按照公式 (6) 进行挑选。

总结上面的控制器设计过程, 运动控制中的自适应反馈控制器的设计步骤为:

- 1) 取初始值 $u_0 = 0$, y_{t+d}^* , y_t ;
- 2) 读取 $y_t, t \geq d$;
- 3) 寻找 i_t , 使 $|y_t - y_{i_t}| = \min_{0 \leq i \leq t-d} |y_t - y_i|, t \geq d$
- 4) 根据 (18) 式求出控制律。

因为系统存在 3 阶延迟, 所以在每一个 t 时刻所获得的参考输入值为 y_{t+3}^* , 所测量到的系统输出为 y_t 。控制律的计算在 $t \leq 3$ 时, 为:

$$u''_t = u_{i_t} + (y^*_{t+3} - y_{i_t}) / b_0 + 150$$

其他情况下则采用统一的控制律公式:

$$u''_t = \text{sign}(y^*_{t+3})u_{i_t} + (y^*_{t+3} - \text{sign}(y^*_{t+3})y_{i_t+3}) / b_0$$

仿真系统实验是在 MATLAB 环境下, 用 SIMULINK 实现的。在上述自适应反馈控制律的作用下, 系统的参考输入与输出响应如图 3 所示。由于控制律的自适应能力很强, 所以虽然系统的正负线性模型并不对称, 控制效果还是相当不错的。经过调试, 控制律中的 b_0 值选为 0.03。为了对控制效果进行对比, 在实验中同时采用了常规的 PI 控制器。从其误差的对比图 4 中可以看出: PI 控制器对系统的线性部分具有很好的控制精度, 但在具有非

线性摩擦力影响的零速度附近,产生很大的跟踪误差,而自适应反馈控制律则能够得到较好的控制效果。但同时也观察到所设计的自适应输出反馈控制方法在实现上还存在着一定的问题,主要表现在所需内存较大,不适用于实际计算机控制系统的实施。另外,用目前的比较方式所求出的 i_t 值导致了输出跟踪信号在负向最大值附近的偏离现象(见图 4)。这些都是今后需要进一步解决的问题。

通过实验我们感到,在每一采样周期 5 毫秒中都要进行多达 500 次的比较,从而导致仿真的运行速度很慢,这可能成为将来实际系统实时控制中的一个问题。所以下一步要做的研究是在不降低控制精度的情况下减少控制器设计所需要的内存和进行比较的工作量。另外,还要进一步消除系统的噪声。在本仿真实验中,我们也发现控制器去噪的性能还不够完善。所以这也是更进一步要做的工作。

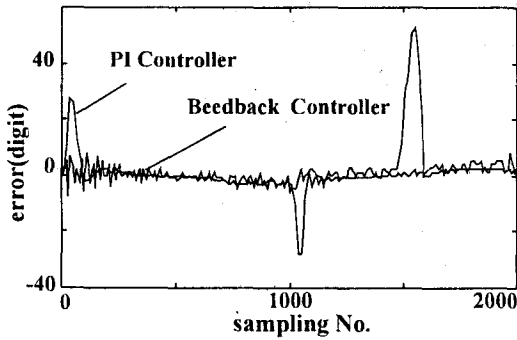


图 3 控制系统的参考输入与输出响应

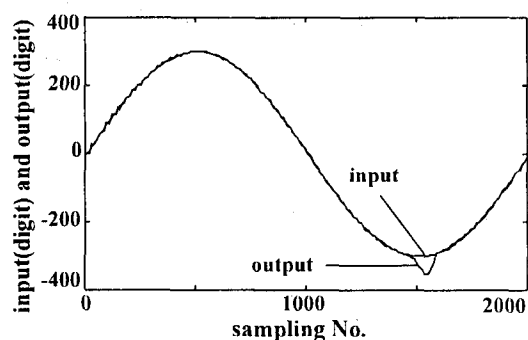


图 4 控制系统的误差响应

5 结论

本文提出了仅基于观测输出设计的自适应输出反馈控制方法,对于结构与参数完全未知的非线性系统,此控制器的设计简单,控制效果好于常规控制器。从仿真实验的控制效果中已证实了其控制的有效性。

参 考 文 献

1. K.J.Astrom and B.Wittenmark, Adaptive Control, Addison-Wesley, Reading, MA, 2nd ed., 1995
2. Han-Fu Chen and Luo Lei, Identification and Stochastic Adaptive Control. Boston, Ma: Birkhauser, 1991
3. P. A. Ioannou and Sun, Robust Adaptive Control, Engle-wood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996
4. M. Krstic, I. Kanellakopoulos and P. V. Kokotovic, Nonlinear and Adaptive Control Design, New York: John Wiley & Sons, 1995
5. Lei Guo, On critical stability of discrete-time adaptive nonlinear control, IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. 42, No. 11, pp.1488-1499, 1997
6. 韩京清. 自抗扰控制器及其应用. 控制与决策. 1998 年, 13(1): 19-23
7. 韩志刚. 自适应预报与控制——多层递阶途径. 黑龙江教育出版社, 哈尔滨. 1995
8. Liangliang Xie and Lei Guo, how much Uncertainty can be Dealt with by Feedback? submitted to IEEE Trans. Automat. Contr.

2-D 系统控制能量受限下的能达集

赵胜民 唐万生

(天津大学系统工程研究所 天津 300072)

摘 要 本文研究 2-D Roesser 模型在能量受限的条件下的能达集。当系统局部能控时, 通过计算系统的最小能量控制给出了其能达集。而基于线性矩阵不等式, 给出了一个便于计算的估计这个能达集范围的方法。最后给出了一个例子。

关键词 2-D Roesser 模型 能达集 线性矩阵不等式

The Reachable Set of 2-D Systems with Constraint of Control Energy

Zhao Shengmin, Tang Wansheng

(Institute of Systems Engineer, Tianjin University, Tianjin, 300072)

Abstract In this paper the reachable set of the Roesser model of 2-D systems with constraint of control energy is studied. The reachable set is derived by computing the minimum of control energy when the Roesser model is locally controllable. Based on Linear Matrix Inequality, a procedure for estimating the range of the reachable set is given which is easy to implement. Finally an illustrative example is given.

Key word 2-D Roesser model Reachable set Linear Matrix Inequality

1 引言

2-D 系统的能达性问题是 2-D 系统状态空间描述方法研究中的核心问题之一。在这方面目前已经取得了许多成果, 人们根据不同的角度给出了多种能达性的定义, 其中包括: 局部能达性、形式能达性、直线能达性、强能达性等等, 并且分别给出了它们的各种判别准则[1-5]。但是这些工作研究的都是控制能量不受限制这种理想化的情形, 而在实际问题中大量的问题应该在能量受限的假设条件下进行研究。因此在[6]中, 陈兆宽等研究了控制能量受限条件下的 2-D 系统的能达性问题, 给出了这时 2-D 系统完全能控性的充要条件, 并对可分离分母 2-D 系统这一特殊情形给出了简明的判别条件。而一般情形时的充要条件却很难判别。

在本文中我们研究 2-D 系统 Roesser 模型在控制能量受限下的能达集问题, 给出估计 2-D 系统 Roesser 模型这时能达集的范围的方法。

2 问题描述与主要结果

考虑如下的 2-D Roesser 模型

$$\begin{bmatrix} x^h(i+1, j) \\ x^v(i, j+1) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x^h(i, j) \\ x^v(i, j) \end{bmatrix} + Bu(i, j) \quad (1)$$
$$y(i, j) = C \begin{bmatrix} x^h(i, j) \\ x^v(i, j) \end{bmatrix}$$

其中 $x^h(i, j) \in R^{n_1}$ 、 $x^v(i, j) \in R^{n_2}$ ($n_1 + n_2 = n$) 分别表示水平和垂直状态变量, $u(i, j) \in R^m$

表示控制输入, $y(i, j) \in R^l$ 表示输出; $A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$, $C = [C_1 \ C_2]$, $A_{ij}, B_i, C_i (i, j = 1, 2)$ 为具恰当阶数的矩阵。

假定系统(1)的控制能量是受限的, 即

$$\sum_{(i,j) \geq (0,0)} u^T(i, j)u(i, j) \leq L^2 \quad (2)$$

其中 L 为常数。

这里给出 2-D Roesser 模型(1)在能量受限控制(2)作用下的能达集的定义。

定义 1 假设边界条件为零, 我们称状态 $x_0 \in R^n$ 是 2-D Roesser 模型(1)在能量受限控制(2)下的能达状态, 是指存在控制输入序列

$$\left\{ u(i, j) \in R^m \mid (0, 0) \leq (i, j) < (h, k) \text{ 且 } \sum_{(0,0) \leq (i,j) < (h,k)} u^T(i, j)u(i, j) \leq L^2 \right\}$$

使得在它的作用下状态 $x(h, k) = x_0$ 。

定义 2 2-D Roesser 模型(1)在能量受限控制(2)下的能达集为

$$R_L = \{x \in R^n \mid x \text{ 是 2-D Roesser 模型(1)在控制(2)下的能达状态}\}$$

为研究 2-D Roesser 模型(1)的能达集, 这里先给出其状态转移矩阵的定义。

定义 3 2-D Roesser 模型(4.3.1)的状态转移矩阵如下定义:

- 1) $A^{0,0} = I_{n \times n}$;
- 2) $A^{1,0} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $A^{0,1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$;
- 3) $A^{i,j} = A^{1,0} A^{i-1,j} + A^{0,1} A^{i,j-1} \quad (i, j) > (0, 0)$;
- 4) $A^{i,j} = 0$, 对 $i < 0$ 或 $j < 0$ 。

又记 $B^{10} = \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $B^{01} = \begin{bmatrix} 0 \\ B_2 \end{bmatrix}$

令

$$M(i, j) = A^{i-1,j} B^{10} + A^{i,j-1} B^{01}$$

$$W(h, k) = \sum_{(0,0) \leq (i,j) < (h,k)} M(h-i, k-j) M^T(h-i, k-j)$$

这时有如下结论

定理 1^[6] 如果 2-D Roesser 模型(1)是局部能控的, 则

$$W = \lim_{h \rightarrow +\infty, k \rightarrow +\infty} W^{-1}(h, k)$$

存在。

于是我们有下面的定理

定理 2 局部能控的 2-D Roesser 模型(1)在能量受限的控制输入(2)的作用下的能达集为