



链控制器及其应用¹⁾

陈铁军

(郑州工学院信控所 郑州 450002)

邱祖廉

(西安交通大学信控系 西安 710049)

关键词: 子系统, 稳定性, 链系统, 结构分散化.

1、链控制器的定义

考虑一个多变量受控系统 Σ , 其因果结构为 L^{\square} , 相应的链系统为 (Σ, L) . 设 Σ_{ij}^c 表示其第 ij 子控制器, 它在 t 时刻的输出被定义为

$$z_{ij-1}^*(t) = F_{ij}^c(I'_{ij}(t), I''_{ij}(t))z_{ij}^*(t), \quad (1)$$

式中 $F_{ij}^c(I'_{ij}(t), I''_{ij}(t)): Z \rightarrow Z$ 是以 Σ_{ij}^c 可以得到的功能信息集 $I'_{ij}(t)$ 和结构信息集 $I''_{ij}(t)$ 为参集的因果映射, Z 是一维变量集. 按照文献[2]中的定义

$$I'_{ij}(t) \triangleq \{z_{hm}(t + l_{hm} | t) | 1 \leq l_{hm} \leq l_{hm}^M, hm \in N_{ij} \cup \{ij - 1, ij\}\}, \quad (2)$$

$$I''_{ij}(t) \triangleq \{F_{ij}(\cdot)(\cdot)(t)\}. \quad (3)$$

其中正整数 l_{hm}^M 是子预估器 $\hat{\Sigma}_{hm}$ 的最大预估步数^[2], N_{ij} 是关联下标集^[1]. $z_{ij}^*(t)$ 是从上级子控制器 Σ_{ij}^c 下达的控制指令. 相应于最高级子系统, $z_{ik_i}^*$ 是第 i 条链的设定输出.

子控制系统 Σ_{ij}^* 是一个复合系统

$$\Sigma_{ij}^* = \{\Sigma_{ij}, \hat{\Sigma}_{ij}, \Sigma_{ij}^c\}, \quad (4)$$

式中 Σ_{ij} 和 $\hat{\Sigma}_{ij}$ 分别是链系统 (Σ, L) 的第 ij 子系统和子预估系统. 它们按照链 L_i 的关联方式复合, 可构成链级子控制系统 L_i^*

$$L_i^* = \{\Sigma_{ij}^* | j = 1, 2, \dots, k_i\}. \quad (5)$$

其中正整数 k_i 表示第 i 条链的链长. 整体控制系统 Σ^* 由所有链级子控制系统 L_i^* 按照链间网状关联方式复合而成, $i = 1, 2, \dots, p_1$, 正整数 p_1 是 Σ 受控输出的个数.

链系统控制算法的设计目标, 是确定一组可实现的子控制器 $\Sigma_{ij}^c, j = 1, 2, \dots, k_i, i = 1, 2, \dots, p_1$, 使整体控制系统 Σ^* 达到预定的性能指标.

根据式(1)–(3)的定义, 链控制器显然在结构上是分散的, 在功能信息上也是非集中的.

本文于1991年11月8日收到.

1) 本研究受国家自然科学基金资助.

2、链系统稳定控制

考虑链能达的确定性链系统^[1]

$$z_{ij}(t+1) = F_{ij}(X_{ij}(t))z_{ij-1}(t - d_{ij-1}^{ij}), \quad (6)$$

$$z_{hm}^m \leq z_{hm}(\cdot) \leq z_{hm}^M, \quad hm = ij - 1, ij, \quad (7)$$

其中 z_{hm}^m 和 z_{hm}^M 是 $z_{hm}(\cdot)$ 的上下限制。令

$$z_{ij}(t + D_{ij}, z'_{is-1}) = \prod_{k=s}^j \hat{F}_{ik}(\hat{X}_{ik}(t + D_{ik} - 1))F_{is-1}^* z'_{is-1}. \quad (8)$$

若对任何 $z_{hm}(\cdot) \in [z_{hm}^m, z_{hm}^M]$, $hm \in N_{ij}$, 都有

$$z_{ij}(t + D_{ij} - 1) > z_{ij}(t + D_{ij}, z_{is-1}^m), \quad (9)$$

$$z_{ij}(t, z_{is-1}^m) \rightarrow z_{ij}^m - \varepsilon_1, \quad t \rightarrow \infty \quad (10)$$

及

$$z_{ij}(t + D_{ij} - 1) < z_{ij}(t + D_{ij}, z_{is-1}^M), \quad (11)$$

$$z_{ij}(t, z_{is-1}^M) \rightarrow z_{ij}^M + \varepsilon_2, \quad t \rightarrow \infty. \quad (12)$$

其中 $\varepsilon_l > 0$, $l = 1, 2$; 且当 $z'_{is-1} < z''_{is-1}$ 时

$$z_{ij}(t + D_{ij}, z'_{is-1}) < z_{ij}(t + D_{ij}, z''_{is-1}), \quad s = 1, 2, \dots, j, \quad j = 1, 2, \dots, k_i, \quad (13)$$

则称该链级子系统具有 A 类链级控制能力。

定理 1. 考虑链级子系统 L_i . 设各子控制系统的输出取决于已知稳定映射 F_{ij}^* , 它关于 $z_{ij-1}(\cdot)$ 同胚, 且当 $z_{ij}(t + D_{ij} - 1) < z_{ij}^*(t + D_{ij})$ 时有

$$z_{ij}(t + D_{ij} - 1) < F_{ij}^* z_{ij}^*(t + D_{ij}) \leq z_{ij}^*(t + D_{ij}); \quad (14)$$

当 $z_{ij}(t + D_{ij} - 1) > z_{ij}^*(t + D_{ij})$ 时有

$$z_{ij}(t + D_{ij} - 1) > F_{ij}^* z_{ij}^*(t + D_{ij}) \geq z_{ij}^*(t + D_{ij}). \quad (15)$$

再设 $z_{ik_i}^*(t + D_{ik_i}) \in [z_{ik_i}^m, z_{ik_i}^M]$ 已知, $F_{ij}(\cdot)$ 关于 $z_{ij-1}(\cdot)$ 同胚. 若

$$1) D_{ij} - d_{hm}^{ij} - 1 < D_{hm}, \quad hm \in N_{ij}, \quad (16)$$

2) 该系统具有 A 类链级控制能力,

则存在 k_i 个子控制器 Σ_{ij}^c .

$$z_{ij-1}^{**}(t + D_{ij-1}) = [F_{ij} F_{ij-1}^*]^{-1} F_{ij}^* z_{ij}^*(t + D_{ij}), \quad (17)$$

$$z_{ij-1}^*(t + D_{ij-1}) = \text{Sat}[z_{ij-1}^{**}(t + D_{ij-1})], \quad (18)$$

其中 $\text{sat}[\cdot]$ 为饱和函数. 使各子控制系统 Σ_{ij}^c

$$z_{ij}(t + D_{ij}) = \text{Sat}[F_{ij}^* z_{ij}^*(t + D_{ij})] \quad (19)$$

及链级子控制系统 L_i^* 都稳定, $j = 1, 2, \dots, k_i$.

证明略.

定理 2. 链系统 (Σ, L) 的整体控制系统 Σ^* 稳定的充分必要条件是所有的链级子控制系统 L_i^* , $i = 1, 2, \dots, p_1$, 都稳定.

证明略.

3、应用

考虑文献[1]中描述的中温变换系统,其预估算法在文献[2]中给出. 容易验证,该系统的所有 $F_{ij}(\cdot)$ 都关于 $z_{ij-1}(\cdot)$ 同胚. 取

$$F_{ij}^* = 1 - f_{ij}q^{-1}, \quad 0 \leq f_{ij} < 1. \quad (20)$$

式中 q^{-1} 是一步延时算子, f_{ij} 是设计参数. 显然 F_{ij}^* 是稳定的同胚映射. 由文献[2]可知, 定理 1 中的条件(1)得到满足. 通过现场实测, 条件(2)也满足. 因此有如下链控制算法:

$$z_{11}^{**}(t + D_{11}) = [f_{12}\hat{z}_{12} + (1 - f_{12})z_{12}^* - \theta_{22}z_{32} - \theta_{23}z_{22}]v_{12}v_{13}/\theta_{12} - f_{11}z_{11}/(1 - f_{11}),$$

$$z_{10}^{**}(t) = [f_{11}z_{11} + (1 - f_{11})z_{11}^* - v_{11}]/\theta_{11},$$

$$z_{21}^{**}(t + D_{21}) = \left\{ \left\{ f_{22}\hat{z}_{22} + (1 - f_{22})z_{22}^* - \prod_{i=0}^{D_{22}-1} [1 - \theta_1(t + D_{22} - i)]z_{22} \right. \right. \\ \left. \left. - \sum_{i=1}^{D_{22}-1} \prod_{j=0}^{i-1} [1 - \theta_1(t + D_{22} - j)] [\theta_1\hat{z}_{21} + \theta_{42}v_{13}] \right. \right. \\ \left. \left. - \theta_{42}v_{13} \right\} / \theta_1 - f_{21}\hat{z}_{21} \right\} / (1 - f_{21}),$$

$$z_{20}^{**}(t) = \left\{ f_{21}\hat{z}_{21} + (1 - f_{21})z_{21}^* - \theta_{31}^{D_{21}}z_{21} - \sum_{i=1}^{D_{21}-1} \theta_{31}^i [\theta_{32}\hat{z}_{32} + \theta_{33}z_{20} + \theta_{42}v_{31}] \right. \\ \left. - \theta_{32}\hat{z}_{32} - \theta_{42}v_{31} \right\} / \theta_{33},$$

$$z_{31}^{**}(t + D_{31}) = \left\{ \left\{ f_{32}\hat{z}_{32} + (1 - f_{32})z_{32}^* - \prod_{i=0}^{D_{32}-1} [1 - \theta_2(t + D_{32} - i)]z_{32} \right. \right. \\ \left. \left. - \sum_{i=1}^{D_{32}-1} \prod_{j=0}^{i-1} [1 - \theta_2(t + D_{32} - j)] \right. \right. \\ \left. \left. \cdot [\theta_2(t + D_{32} - i)\hat{z}_{31} + \theta_{63}v_{13}] - \theta_{63}v_{13} \right\} / \theta_2(t + D_{32}) \right. \\ \left. - f_{31}\hat{z}_{31} \right\} / (1 - f_{31}),$$

$$z_{30}^{**}(t) = \left\{ f_{31}\hat{z}_{31} + (1 - f_{31})z_{31}^* - \theta_{51}^{D_{31}}z_{31} - \sum_{i=1}^{D_{31}-1} \theta_{51}^i [\theta_{52}z_{30} + \theta_{53}\hat{z}_{22}] - \theta_{53}\hat{z}_{22} \right\} / \theta_{52},$$

$$z_{ij}^*(t + D_{ij}) = \text{Sat}[z_{ij}^{**}(t + D_{ij})], \quad i = 1, 2, 3; \quad j = 0, 1.$$

该算法已在化肥厂中温变换系统控制中应用,使控制稳定性和精度明显提高,并减少了蒸汽用量,节约了能源.

参 考 文 献

- [1] 陈铁军, 邱祖廉. 结构分散模型及其应用. 自动化学报, 1992, 18(6): 655—663.
[2] 陈铁军, 邱祖廉. 链预估器及其应用. 自动化学报, 1992, 18(3): 290—296.

CHAIN CONTROLLER AND ITS APPLICATIONS

CHEN TIEJUN

(Institute of automation, Zhengzhou Institute of Technology, Zhengzhou 450002)

QIU ZULIAN

(Dept. of Information and Control, xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Key words: subsystem; stability; structural decomposition; chain system.

(上接第 333 页)

续表

序号	项目名称	主要内容	时间	地点	联系人
12	全国模式识别与机器智能学术交流会	模式识别与机器智能专业委员会例行年会	4 季度	广东汕头	田捷 邮编 100080 北京 2728 信箱
13	第三届机电一体化学术会议	从工程的角度出发, 交流高科技成果并着重研讨产业化的问题, 以推动我国机电一体化技术的发展	10 月	待定	肖秀珍 北京德外校场口机械工业自动化所 邮编 100011
14	CAD 技术、小型工作站技术展示会	推动自动化技术的发展, 提高企业效益, 增强企业的竞争力	4 月	北京	同上
15	首届全国青年机械工业自动化学术交流会	成立青年机械工业自动化学术组织, 推动机械工业自动化领域里青年科技人员的学术交流	2 季度	待定	同上
16	第六届全国高校机加工自动化学术年会	交流推动机加工自动化的发展	8 月	烟台	同上
17	CAD 应用与发展研讨会	研讨、交流 CAD 技术在工程设计中的应用和发展	3 季度	北京	朱蕴珍 邮编 100026 北京团结湖北路自动化控制系统总公司
18	关于 DCS 系统选用中若干问题的研讨及其发展方向	专题学术研讨	4 季度	北京	朱蕴珍 邮编 100026 北京团结湖北路自动化控制系统总公司
19	DCS 与 PLC 在工程设计使用中经验交流会	专题研讨	2 季度	北京	同上
20	工业自动化与仿真技术研讨会	系统仿真专业委员会例行年会	3 季度	北京	吴连伟 邮编 100037 北京 842 信箱
21	第十届青年学术年会	青年工作委员会例行年会	8 月	西安	张友民 丁振 邮编 710072 西安西北工业大学自控系
22	'94 生物控制论与医学工程学术会议	生物控制论与医学工程专业委员会例行年会	2 季度	重庆	陆惠民 邮编 100101 北京朝阳区大屯路 15 号 中科院生物物理所
23	第四届全国经济与管理学术研讨会	经济与管理系统专业委员会例行年会	10 月	待定	王玲 邮编 100083 北京科技大学自动化系
24	第七届全国电气自动化与电控系统学术年会	电气自动化专业委员会例行年会	10 月	苏州	于江 天津市二号桥电气传动设计所 邮编 300180