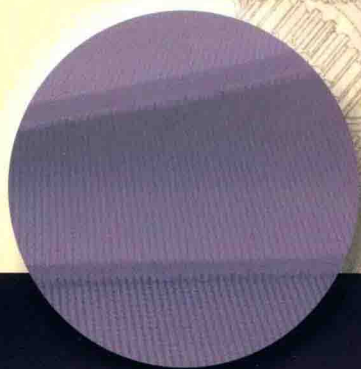


Feiguanghua Sanmingzhi Xitong de Ruanceliang
yu Guzhang Zhenduan Jishu Yanjiu

非光滑三明治系统的软测量 与故障诊断技术研究

周祖鹏 等 | 著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

Feiguanghua Sanmingzhi Xitong de Ruanceliang
yu Guzhang Zhenduan Jishu Yanjiu

非光滑三明治系统的软测量 与故障诊断技术研究

周祖鹏 等

著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书内容包括绪论、非光滑三明治系统的描述方法、非光滑三明治系统状态的软测量方法、软测量观测器的收敛性分析、非光滑三明治系统的鲁棒软测量方法、非光滑三明治系统的故障预报技术、复合非光滑三明治系统的软测量、总结与展望等八大部分,具体介绍了非光滑三明治系统的描述方法,阐述了非光滑三明治系统的软测量观测器与鲁棒软测量观测器的构造方法及其收敛性,给出了非光滑软测量观测器的应用实例,给出了非光滑三明治系统的故障预报技术及其应用实例,最后说明了复合非光滑三明治系统软测量方法及其应用等。

本书可作为高等院校自动化、机械和机电一体化等相关专业研究生的学习参考书,还可作为从事非线性系统研究的相关研究人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

非光滑三明治系统的软测量与故障诊断技术研究/周祖鹏等著. —武汉:华中科技大学出版社,2016.5

ISBN 978-7-5680-1603-2

I. ①非… II. ①周… III. ①机械工程-控制系统-研究 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 052173 号

非光滑三明治系统的软测量与故障诊断技术研究

周祖鹏 等著

Feiguanghua Sanmingzhi Xitong de Ruanceliang yu Guzhang Zhenduan Jishu Yanjiu

策划编辑: 万亚军

责任编辑: 王 晶

封面设计: 刘 卉

责任校对: 李 琴

责任监印: 张正林

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)81321913

录 排: 武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷: 武汉鑫昶文化有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 9.25 插页: 2

字 数: 175 千字

版 次: 2016 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 35.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

作者简介

周祖鹏,广西桂林人,1977年12月生。2000年毕业于湖南大学汽车与拖拉机专业,获学士学位。2006年毕业于桂林电子科技大学机械电子工程专业,获硕士学位。2012年12月毕业于西安电子科技大学电子工程学院信号与信息处理专业,师从谭永红教授。2013年分别在美国华盛顿州立大学和意大利巴西利卡塔大学从事博士后研究工作。



主要研究方向:非线性系统的软测量,非线性系统的故障诊断,仿生设计与绿色设计等。

代表性成果及经历:自2007年起,申请发明专利6项,获得实用新型专利8项;在核心以上级别期刊发表论文20余篇,其中SCI收录论文4篇,EI收录论文10余篇;在《控制理论与应用》国内权威核心刊物上发表研究论文4篇,在国际SCI收录期刊 *Measurement* 上发表论文1篇,在国际SCI收录期刊 *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics* 上发表论文2篇,在国际SCI收录期刊 *Fuel* 上发表论文1篇。

前 言

当前,我国正处在由粗放型发展模式向集约型发展模式过渡的关键时期,为了实现这一过渡,中国必须由一个制造业大国变成一个制造业强国,实现自主创新 and 绿色制造,最终走上可持续发展的道路。其中,随着科学技术的不断发展,对于制造业的制造精度要求也在不断提高。在航空、光学、生物学和医学等领域,对于执行器和传感器的精度要求已从微米级向纳米级甚至更高精度级别跨越。然而,这些系统精度的提高离不开自动控制技术的同步发展与更新,如何实现对这些高精度系统甚至超高精度系统的精确控制和故障诊断是一个具有挑战性的难题。因此,本书针对一类能用非光滑三明治系统描述的高精度和超高精度系统的软测量问题和故障预报问题进行了详细的论述和研究,希望能为中国成为制造业强国做出贡献。

众所周知,在电路系统、通信系统和工业机电系统中都广泛存在着死区、间隙、迟滞三种典型非光滑非线性环节。而且,在实际系统中,这些非光滑非线性环节往往夹在两个线性环节之间,构成非光滑三明治系统。在过去的建模中,往往忽略了这些非光滑非线性特性,而用线性系统简化该类系统。然而,这样的简化处理必然造成模型的不准确,给后面的观测器构建带来不利影响。因此,通过努力将这些客观存在的特性都考虑进去,构建更为准确的数学模型来描述非光滑三明治系统,在此基础上构建观测器,对这类非光滑三明治系统进行准确的软测量和故障预报,是很有应用价值的研究工作。然而,在过去的文献中,还没有专门针对非光滑三明治系统的论述。

作者根据多年来在这个领域的研究,特别针对工业中广泛存在的非光滑三明治系统进行了详细的阐述。首先,采用切换函数和切换项构建非光滑状态空间方程来精确描述非光滑三明治系统。其次,巧妙地构造能随系统工作区间变化而自动切换的非光滑观测器对该类系统进行状态估计和软测量。再次,考虑干扰和噪声等实际工作状态,构建了鲁棒状态观测器对系统进行鲁棒状态估计,特别是提出的广义干扰的概念成功解决了这类系统的鲁棒软测量问题。最后,利用鲁棒故障预报观测器实现了对这类系统的准确故障预报,为今后这类系统的故障诊断奠定了重要基础。

本书可作为工科院校自动化专业以及相关专业的研究生选修课程教材或参考书,也可以作为开展系统非线性研究、复杂系统状态估计、复杂系统控制和故障诊断研究工作者的参考书。

本书主要由桂林电子科技大学周祖鹏博士负责全书的撰写工作,西安电子科技大学谭永红教授对非光滑三明治系统观测器的设计给予了重要的指导性意见,广西大学谢扬球博士提供了第3章中的死区和迟滞非光滑三明治系统的实验数据,上海师范大学董瑞丽博士为第2章中的系统描述的方法提供了建议。在此表示感谢。

本研究得到如下项目的资助。

(1) 国家自然科学基金项目:非光滑三明治系统状态估计与故障预报研究(No. 61263016)。

(2) 广西自然科学基金(教育部留学回国人员科研启动基金):复合非光滑三明治系统状态估计与故障预报研究(No. 2015GXNSFCA139019)。

(3) 广西重点实验室主任基金:机器手中的非光滑三明治系统状态估计研究(No. 12-071-11-62_003)。

(4) 广西重点实验室主任基金:机器手中的非光滑三明治系统故障诊断研究(No. 13-071-11-62_006)。

在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2015 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 研究现状	(5)
1.3 研究意义	(8)
1.4 主要内容和安排	(9)
第 2 章 非光滑三明治系统的描述方法	(10)
2.1 引言	(10)
2.2 死区三明治系统模型	(10)
2.3 间隙三明治系统模型	(13)
2.4 迟滞三明治系统模型	(16)
2.5 模型比较分析	(19)
2.6 结论	(20)
第 3 章 非光滑三明治系统状态的软测量方法	(21)
3.1 引言	(21)
3.2 死区三明治系统的非光滑状态估计观测器	(21)
3.3 间隙三明治系统的非光滑状态估计观测器	(30)
3.4 迟滞三明治系统的非光滑状态估计观测器	(38)
3.5 结论	(49)
第 4 章 软测量观测器的收敛性分析	(50)
4.1 引言	(50)
4.2 死区三明治系统的非光滑状态估计观测器收敛性分析	(50)
4.3 间隙三明治系统的非光滑状态估计观测器收敛性分析	(53)
4.4 迟滞三明治系统的非光滑状态估计观测器收敛性分析	(55)
4.5 结论	(58)
第 5 章 非光滑三明治系统的鲁棒软测量方法	(59)
5.1 引言	(59)

5.2	动态鲁棒状态估计观测器设计	(59)
5.3	仿真与实验说明	(64)
5.4	结论	(90)
第 6 章	非光滑三明治系统的故障预报技术	(91)
6.1	引言	(91)
6.2	鲁棒故障预报观测器设计	(91)
6.3	仿真说明	(96)
6.4	结论	(111)
第 7 章	复合非光滑三明治系统的软测量	(112)
7.1	引言	(112)
7.2	复合三明治系统的软测量	(113)
7.3	复合非光滑观测器的结构	(115)
7.4	复合非光滑观测器的收敛性	(115)
7.5	案例说明	(116)
第 8 章	总结与展望	(120)
8.1	对研究工作的总结	(120)
8.2	对未来研究工作的展望	(121)
附录 A	死区三明治系统观测器收敛定理证明	(123)
附录 B	间隙三明治系统观测器收敛定理证明	(126)
附录 C	迟滞三明治系统观测器收敛定理证明	(130)
参考文献		(134)

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

非光滑三明治系统广泛存在于电路系统、通信系统和工业机电系统等实际应用中。分析和描述这类特殊系统对于实现这类系统的准确状态控制和故障预报具有重要的现实意义。因此,本章首先给出了三明治系统和非光滑三明治系统的结构和定义,然后重点介绍了在电路系统、通信系统和工业机电系统中常见的死区三明治系统、间隙三明治系统和迟滞三明治系统。接下来介绍了迄今已有的可供参考的系统状态估计和故障诊断的方法。最后给出了本书的内容安排。

若一个非线性环节位于两个动态的线性模块之间,这类系统称为三明治系统,其结构如图 1.1 所示,有的文献也称之为 Wiener-Hammerstein 系统(W-H 系统)^[1-2]。

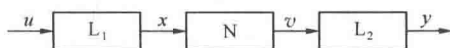


图 1.1 三明治系统的结构

其中, N 是非线性环节, L_1 和 L_2 分别是前端和后端的线性动态环节。在通常情况下,这类系统的输入 u 和输出 y 可测,而中间变量 x 和 v 不可直接测量。在图 1.1 中,若 $L_1=1$,则为一种典型的非线性系统,即 Hammerstein 系统,如果 $L_2=1$,则系统变为 Wiener 系统。因此,无论是 Hammerstein 系统还是 Wiener 系统,实质上都是三明治系统。

另外,还有一类系统就是一个动态的线性环节位于两个非线性模块之间的系统,一般称这类系统为广义的三明治系统。因为,此时如果将整个系统分为两部分来看,Hammerstein 系统在前,Wiener 系统在后,所以通常称其为 Hammerstein-Wiener 系统(H-W 系统)^[3]。H-W 系统不属于本书的讨论范围。

当三明治系统中所嵌入的非线性环节是光滑非线性时,称为光滑三明治系统,反之,如果所嵌入的非线性环节为非光滑非线性时,则称为非光滑三明治系统。本书将研究电路系统、通信系统和工业过程中常见的具有死区、间隙和迟滞这些非光滑非线性的三明治系统的状态估计与故障诊断问题。

由于非光滑三明治系统的结构比较复杂,其非光滑非线性的导函数不连续,甚至非线性本身都不连续,因而传统的系统状态估计和故障诊断方法难以直接推广于具有非光滑非线性的系统中,所以非光滑三明治系统的状态估计和故障诊断要比其他线性系统或非线性系统复杂得多。如何构造这类系统的状态空间方程和观测器,对其进行准确的状态估计和故障诊断,是一项具有挑战性的课题,也是近来在控制界逐渐引起人们重视的研究课题之一。

在实际电路系统、通信系统、信号处理系统以及机电系统中,非光滑三明治系统是广泛存在的,比如电路系统中常用的功率放大系统、通信工程中常用的射频电路系统和锁相环路系统,以及机电系统中的液压执行器驱动飞机升降梯、带压电执行器的电子扫描隧道显微镜、超精密运动平台、带齿轮的伺服定位控制系统等系统都属于这类系统^[2]。下面给出几个典型的非光滑三明治系统的例子。

1.1.1 功率放大器

功率放大器在音响设备中广泛应用,一个完整的功放系统包括三个部分:电压放大级,功率放大级,负载级(例如扬声器、电动机之类的负载)。电压放大级可以看作是一个线性动态系统,用 L_1 表示,负载级也可以看作是一个线性动态系统,用 L_2 表示。中间的功率放大电路采用乙类互补电路,由于管子的基极电流必须在基极电压大于门限电压(NPN 硅管约为 0.6 V ,PNP 锗管约为 0.2 V)时才有显著变化,否则输出电流为零,因此具有死区特性,可以看作是一个死区环节 DZ 。并且,三极管电路两端的输入和输出电压往往难以测量,因此,这一类功率放大器可以看作是死区三明治系统^[4]。功放电路组成结构如图 1.2 所示。

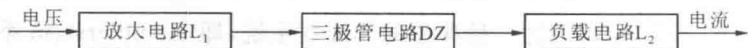


图 1.2 功放电路组成结构

1.1.2 射频电路

射频电路中的 AM(幅度)解调器用于从接收到的载波信号中提取相应的数

据信号。AM 解调器包括包络检测电路、滤波电路和迟滞比较器。最后,迟滞比较器再与逻辑控制电路相连。其中,包络检测电路和滤波电路可以看作是一个线性动态系统,用 L_1 表示,逻辑控制电路也可以看作是一个线性动态系统,用 L_2 表示,中间的迟滞比较器可以看作是迟滞非线性非光滑环节 HS。因此,整个射频电路的 AM 解调电路可以看作是一个迟滞非光滑三明治电路系统^[5]。射频电路 AM 解调电路组成结构如图 1.3 所示。

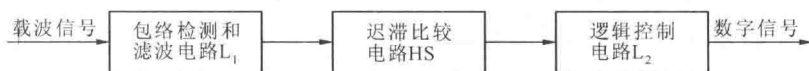


图 1.3 射频电路中 AM 解调电路组成结构

1.1.3 锁相环路

锁相环路(简称 PLL)是由鉴相器、环路滤波器和压控振荡器组成的闭环电路,它利用相位误差信号去消除频率误差,自动反馈控制电路,可实现无误差频率跟踪,即当锁相环路锁定时,输出信号的频率与输入信号的频率相等,若输入信号的频率发生变化,输出信号的频率也跟随变化并保持相等。其中,两端的鉴相器(PD)和压控振荡器(VCO)分别可以看作是非光滑三明治系统的前端 L_1 和后端 L_2 线性环节,中间的环路滤波器可以看作是一个迟滞环节 HS。因此,整个锁相环路可以看作是一个迟滞非光滑三明治电路系统^[6],如图 1.4 所示。



图 1.4 锁相环路电路组成结构

1.1.4 超精密移动定位系统

记忆合金、压电陶瓷的智能执行装置具有定位精度高、驱动力大和响应快等优点,被广泛应用在精密加工机床、航天飞机的柔性机械手臂和天文望远镜等精密设备的定位系统中。但是记忆合金和压电陶瓷中存在着迟滞这种非光滑非线性,由于迟滞的影响,系统会出现波动、振荡或动态误差。

超精密移动定位平台常用于实际的超精密制造系统中,以实现系统的精确微位移。该平台由放大电路、压电执行器和负载三部分组成,如图 1.5 所示。压电执行器的前端与功率放大器相接,后端与负载连接。这样的系统可以用迟滞三明治系统描述。

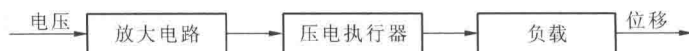


图 1.5 超精密移动定位平台的结构

1.1.5 机械传动系统

机械传动系统是机器中的一个重要部件,通过机械传动系统,不仅可以改变动力源的动力传动方向,而且可以改变动力传动源的传动速度,它的正常工作是整个机器正常工作的重要基础。图 1.6 所示的就是一种典型的机械传动系统,它包括伺服电动机、齿轮传动机构和蜗杆传动机构、工作平台三个主要部分。电动机可以看作是一个线性系统,工作平台可以看作是另一个线性系统,它们之间夹着一对齿轮传动机构和一对蜗杆传动机构。由于齿轮传动机构和蜗杆传动机构磨损后不可避免地存在间隙,因此,这个系统可以看作是间隙三明治系统。

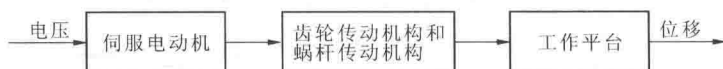


图 1.6 机械传动系统

1.1.6 液压传动系统

图 1.7 所示的是一个液压传动系统。设在该系统中,伺服电动机的输入电压 u (单位为 V) 和控制阀的位移 x (单位为 m) 以及液压执行器的输出 y (单位为 m) 可以直接测量,中间变量 v (死区输出) 不能直接测量。当伺服电动机 L_1 的输

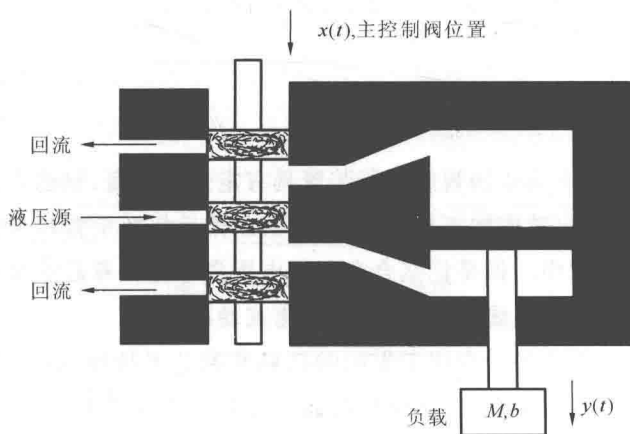


图 1.7 液压传动系统

入和输出分别为电压和线性位移时,伺服电动机可以看作是一个二阶的动态线性子系统。 L_2 是由控制阀控制的液压执行器,可以认为是一个二阶动态线性子系统。因此,液压传动系统两端是两个二阶线性环节。液压控制阀由于中间区域的重叠有典型的死区特性,因此液压传动系统可以看作是一个死区三明治系统,如图 1.8 所示。另外,液压控制阀在换向的时候存在油隙,因此,中间环节也可以看作是一个具有间隙特性的环节。因此,液压传动系统也可以看作是一个间隙三明治系统,如图 1.9 所示。

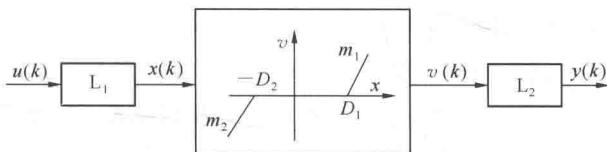


图 1.8 死区三明治系统模型

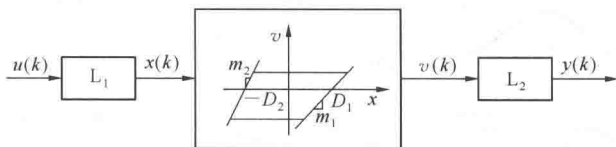


图 1.9 间隙三明治系统模型

1.2 研究现状

1.2.1 非鲁棒状态估计观测器研究

不考虑模型不确定性和干扰情况下,在特殊系统观测器设计方面,D. J. Luenberger早在 1971 年就提出了采用观测器方法对线性系统的状态变量进行估计,后人称其构造的观测器为 Luenberger 观测器^[7]。文献[8]针对有延迟的线性离散时间系统构建观测器进行状态估计,并用 Lyapunov 方法证明观测器的稳定性。文献[9]针对具有不确定性的线性系统构建观测器,并给出了观测器的收敛定理,通过求解矩阵不等式组的方法获得观测器的反馈矩阵,仿真说明了方法的有效性。文献[10]针对多输入多输出连续可导的非线性离散时间系统构建降维观测器,并证明其稳定性,三个仿真案例说明观测器的实用性。

文献[11]针对由实验方法获得的非光滑非连续系统构建观测器,实际上是采用分段线性观测器(切换观测器)去跟踪系统在不同工作状态下的状态变量,并以矩阵不等式组的形式给出了观测器收敛条件,并通过两个带有非光滑非连续特性系统的案例说明了观测器的有效性。文献[12,13]针对线性切换系统,在假设系统切换条件已知的情况下,给出了切换系统的观测器构建方法,采用共用 Lyapunov 函数的方法给出了切换观测器的收敛条件,并以仿真案例说明了方法的有效性。由于该文献假设切换条件是已知的,所以避免了由于观测器切换不当而造成误差的可能。文献[14]针对线性切换系统,在假设切换条件未知的情况下,切换系统的观测器构建方法,此时,由于切换条件是未知的,所以存在由于观测器切换错误造成误差的可能。

文献[15]针对线性连续时间的切换系统构建观测器,分析了观测器切换信号与系统工作区间匹配和不匹配时的观测器收敛情况,并且指出,在切换信号与工作区间匹配时,观测器误差是渐近收敛到零的,而不匹配时,观测器的估计误差是有界的。文献[16]假设在观测器的工作区间不一定与系统工作区间匹配的情况下,对离散时间切换系统构造了切换观测器,并给出了观测器收敛定理,指出观测器反馈矩阵满足特定条件时,观测器误差是有上界的,且该误差上界与状态变量的上界有关。文献[17]构造了一种自适应观测器,并用它对具有不确定因素的非线性系统的延时系统的状态变量进行估计。文献[18]利用求矩阵不等式组的方法构造切换观测器对包含不确定性因素的系统状态进行估计,并将该方法用于迟滞的 Wiener 模型描述的机械系统状态估计中。

文献[19]针对死区 Hammerstein 系统构造了一种高增益观测器,同时对死区参数和状态变量进行估计。文献[20]利用两层神经网络构造观测器,对复杂非线性系统的状态进行估计。文献[21]针对汽车变速器的扭矩传递系统构建观测器,对其状态进行估计,该系统被认为是一个复杂的切换系统。近年来,针对特定系统构建特定观测器已经成为一个研究热点。例如,文献[22]针对一类特殊的 Port-Hamiltonian 系统构建观测器进行状态估计,文献[23]构造一种特殊的 Dead-Beat(无差拍)观测器对非线性系统进行状态估计。以上研究都是在不考虑干扰和模型不确定情况下,针对特定系统开展观测器设计研究,在这些研究中都假设系统是完全能观的,而非光滑三明治系统在某工作区间不完全能观。因此,在对非光滑三明治系统进行状态估计观测器设计时,必须要考虑系统不完全能观的问题。

1.2.2 鲁棒状态估计观测器研究

在鲁棒状态估计观测器设计方面,文献[24]采用未知输入观测器对满足

Lipschitz条件的非线性系统进行状态估计,但是该方法对观测器有很多限制条件,比如要求可测输出的维数大于干扰维数,对于干扰较多而可测输出较少的三明治系统不适用。文献[25]采用 Kalman 滤波器对包括模型不确定性和噪声的线性系统进行状态估计,该方法对噪声的统计特性有要求,并且该方法的模型与控制理论中的输入输出状态空间模型不一致,所以该方法一般用于没有外输入 $u(k)$ 的数字信号处理模型。文献[26]采用鲁棒观测器方法对于干扰到状态误差的传递函数的范数进行优化,得到了最优的状态估计值,但该方法的应用对象是线性系统。

文献[27]采用动态观测器在整个频域内对于干扰到状态的传递函数矩阵的范数进行最小化设计。对于一类特殊的抛物偏微分系统,文献[28]构建了鲁棒自适应神经网络观测器对其进行状态估计。文献[29]构建了一种带有随机弹性项的特殊鲁棒观测器,并用它对带有干扰的非线性离散时间系统进行状态估计。在这些鲁棒状态观测器研究中所考虑的“干扰”包括模型误差、外干扰和噪声,但不包括由于工作区间估计错误造成的观测器切换误差,而非光滑三明治系统观测器却存在切换误差。因此,针对非光滑三明治系统设计鲁棒状态估计观测器时,应扩展“干扰”的概念,将切换误差作为一类“广义干扰”考虑进来。

1.2.3 鲁棒故障预报观测器研究

在鲁棒故障预报观测器设计方面,文献[30]中首先针对一类有时间延迟的线性系统进行执行器故障预报,其次,将该方法延伸到非线性系统的执行器故障中,仿真结果得到了预期的效果。文献[31]对一类非线性系统构建鲁棒观测器进行故障预报,给出了观测器的收敛定理,针对攻击机模型进行了仿真,结果符合预期效果。文献[32]对线性时变系统进行了故障诊断,构建了一种新的自适应观测器对故障进行估计,通过对热交换器系统的故障估计来说明该方法的有效性。

文献[33,34]对非线性离散时间系统进行故障诊断,通过构造非线性观测器跟踪系统的各个状态变量,利用残差信息和故障更新公式得到了执行器故障的正确估计值。文献中也考虑了模型不确定性的影响,采用神经网络的方法对模型不确定值进行估计,在故障报警阈值设定时用到了相关的模型估计不确定值,文献也对观测器的稳定性进行了严格的证明,实际机器人案例也说明了方法的有效性。文献[35]采用 H_2/H_∞ 的方法对时不变离散系统进行鲁棒故障预报,通过生成鲁棒残差来实现较准确的故障预报。文献[36]采用 H_-/H_∞ 的方法进行故障预报,其方法是最小化干扰到残差的传递函数的范数。文献[37]采用零点配置的 H_2/H_∞ 鲁棒观测器实现系统鲁棒故障预报,其思想是在动态观测器反馈环节增加与干扰频率相同的极点,从而使得干扰到残差的前向通道增加零

点来抑制干扰对残差的影响,同时通过优化方法使得故障对残差敏感。文献[38—40]假设干扰频率带宽有限,采用最小化干扰到残差的传递函数的方法对气轮机系统进行鲁棒故障预报。

文献[41]针对满足 Lipschitz 条件的非线性不确定系统,利用全维和降维观测器进行故障诊断。基于鲁棒观测器的切换系统和混杂系统故障诊断研究近年来也越来越受到关注,文献[42—44]都是关于这类系统的基于鲁棒观测器的故障诊断研究。其中文献[42]主要是针对线性切换系统,文献[43,44]是针对非线性系统的,但是非线性环节满足全局 Lipschitz 条件。文献[45,46]针对基于 Petri-net 建模的系统,构建观测器进行故障诊断和容错控制。文献[47—49]研究了基于滑动鲁棒观测器的仿射非线性系统和其他系统的执行器故障诊断,并将该方法应用到实验室的三维起重设备、垂直三缸系统和电动机系统的故障诊断中。同鲁棒状态估计观测器类似,在过去的鲁棒故障预报观测器研究中也并没有考虑非光滑三明治系统特有的切换误差的影响。

1.3 研究意义

由于非光滑三明治系统中的非线性环节的输入 x 和输出 v (见图 1.1) 往往不能直接测量,非光滑非线性环节的导函数不连续,甚至非线性非光滑环节本身都不连续,而间隙和迟滞等更是具有多值映射特性,再加上该类系统在某些工作区间是不完全能观的,而以往文献提出的观测器设计方法都是基于系统完全能观的假设条件下,因此,过去提出的系统状态估计方法对非光滑非线性的系统都不再适用。所以,相对于过去文献中提及的非线性系统而言,非光滑三明治系统的状态估计和故障预报更复杂,更具有挑战性。

本书针对实际工程中广泛存在的非光滑三明治系统,采用关键项分离原则和切换函数,提出一种描述该系统的非光滑状态空间模型,进而构建包含自动切换项的非光滑观测器并分析非光滑观测器的收敛性。同时,在考虑广义干扰的情况下,分别设计非光滑三明治系统的鲁棒状态估计观测器和鲁棒故障预报观测器,以实现准确的状态估计和故障预报。本研究将拓展复杂系统状态观测器理论,解决非光滑三明治系统状态变量的准确状态估计和非光滑三明治系统故障准确预报问题,本研究工作具有较高的科学理论意义与实际应用前景。

1.4 主要内容和安排

为了说明整个研究体系,图 1.10 给出了本书的总体研究框架。根据总体研究框架,本书分为 8 章进行写作。

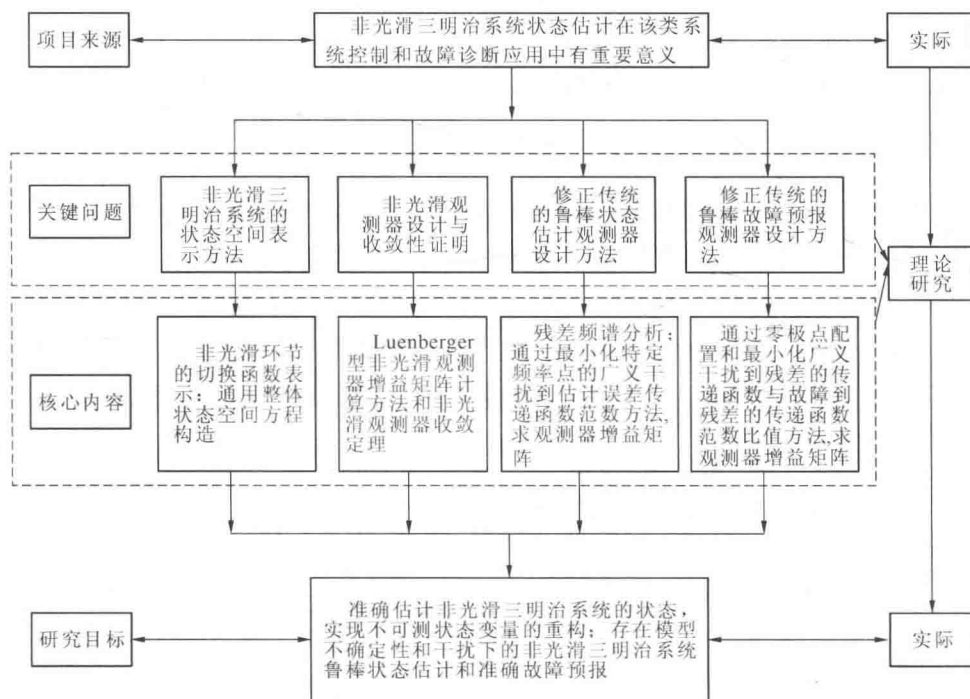


图 1.10 本书总体研究框架