

基于模糊控制的智能故障诊断研究

Study of Intelligent Fault Diagnosis based on Fuzzy Control

邹昆 / 中航工业西安飞行自动控制研究所

摘要: 飞机的机载设备故障多, 且具有模糊性、复杂性的特点, 故障与征兆之间的关系很难用精确的数学模型来表示。本文在介绍模糊控制器原理的基础上, 设计了模糊控制规则和模糊控制表(规则库), 并结合机载设备故障检测实例对控制器进行了验证。结果表明, 基于模糊控制器的故障诊断方法能够有效检测机载设备故障。

Abstract: Airborne equipment is easy to fault, and has a vague, complex features. It's difficult to use precise mathematical model to represent the relationship between faults and symptoms. On the base of fuzzy controller introduction, this paper designs the fuzzy control rules and fuzzy control table (rule base), verifies the accuracy with an example of airborne equipment fault. The results show that the fault diagnosis method based on fuzzy controller can effectively detect the airborne equipment failure.

关键词: 模糊控制; 故障诊断; 机载设备; 模糊规则; 隶属度函数

Keywords: fuzzy control; fault diagnosis; airborne equipment; fuzzy rules; fuzzy membership function

0 引言

飞机机载设备由于其系统的复杂性, 故障具有模糊性、随机性以及征兆的局限性等特征, 很难用传统的故障诊断手段进行故障定位^[1]。针对故障检测的任务, 近年来, 人工智能及计算机技术的飞速发展, 为故障诊断提供了新的理论基础。这些方法不需要对象的精确数学模型, 而且具有某些“智能”特性, 因此是很有生命力的方法^[2]。

故障诊断系统的智能水平与系统拥有知识的数量和使用知识的能力有着密切的联系。迄今为止, 基于知识的故障诊断系统的发展经历了两个阶段: 基于浅知识(人类专家的经验知识)的第一代故障诊断专家系统和基于深知识(诊断对象的模型、原理知识)的第二代故障诊断专家系统。

基于浅知识的方法以领域专家和作者的启发性经验知识为核心, 通过演绎推理或产生式推理来获取诊断结构, 其目的是寻找一个故障集合, 使之能对一个给定的征兆(包括发生的和未发生

的)集合产生的原因作为最佳解释。基于浅知识的故障诊断具有知识表达直观、形式统一、模块性强、推力速度快等优点, 但随着设备复杂性的增加, 专家的经验很难完整表示诊断对象的故障诊断领域知识, 致使诊断难以得出准确的结论。

基于深知识(模型知识)的方法利用启发症状、过程的历史知识、统计知识进行故障的诊断。它要求对系统的每一个环节具有明确的输入输出关系, 通过诊断对象的实际输出与期望输出之间的不一致生成引起这种不一致的原因集合, 根据诊断对象领域中的第一定律知识(具有明确科学依据知识)及其内部特定的约束关系, 采用一定算法找出可能的故障源。这种方法在知识的表达与组织上具有更大的优越性, 知识获取方便、维护简单, 易于保证知识库的一致性和完整性, 但是搜索空间大, 推理速度慢。

而模糊推理故障诊断方法就能解决该问题。实际因素的复杂性决定了故障与征兆之间的关系很难用精确的数学模型来表示, 随之, 某些故障的状态也是

模糊的, 不能用“是否有故障”的简单诊断结果来表示, 而要求给出故障产生的可能性及故障位置和程度如何。

故障检测的方法很多, 一般的方法如图1所示。

模糊控制还可以和其他的智能方法进行结合来控制对象。例如, 潘海兰^[3]等人提出了基于自适应神经网络加权模糊故障诊断的研究, 并在柔性制造系统实例中进行了故障诊断。严浙平^[4]等人将模糊控制和自适应控制结合起来, 应用到了潜艇中, 得到了很好的效果。

1 模糊控制的分析

模糊控制是建立在人工经验的基础上的。它是以模糊集合理论、模糊语言变量以及模糊推理为基础的一类控制方法。模糊控制理论有以下明显优点^[5]。

- 1) 模糊控制不需要被控对象的数学模型;
- 2) 模糊控制是一种反应人类智慧的智能控制方法;
- 3) 模糊控制易于被人们接受;

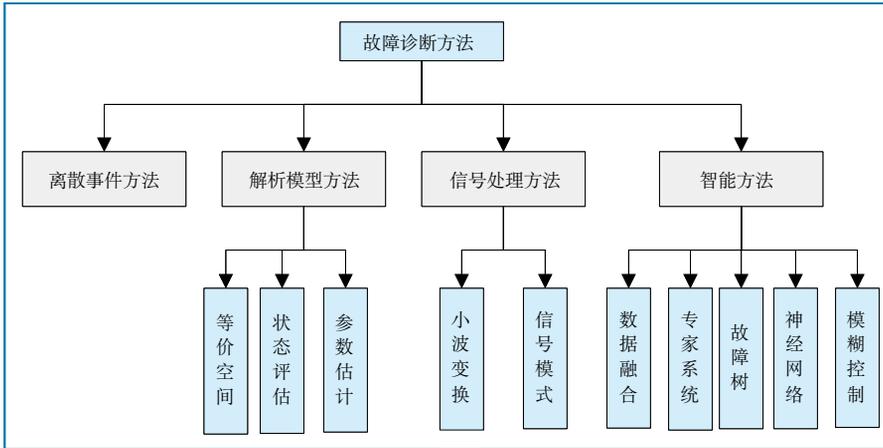


图1 一般故障检测方法分类

4) 构造容易,在MATLAB/Simulink中有直接的模块;

5) 鲁棒性和适应性好。

模糊控制的隶属度函数有多种多样,可以很方便地选择,在MATLAB/Simulink中可以进行选择,也可以进行手动修改图形界面的参数,使用起来极其的方便。例如有高斯型、广义钟形、s型、梯形、三角形和z型等隶属度函数可供选择,其构造容易。

模糊控制器的控制原理图如图2所示^[5]。

从图2可知,模糊控制系统与通常的计算机数学控制系统的主要差别是采用了模糊控制器。模糊控制器是模糊控制系统的核心。一个模糊控制系统的性能优劣,主要取决于模糊控制器的结构、所采用的模糊规则、合成推理算法以及模糊决策的方法因素。

模糊控制器的规则库是基于专家

或者操作人员的经验累积的经验。使用的是if...then...的形式实现的控制规则。若是多人则是if ...and...then的格式。

2 故障诊断分析

通过智能故障诊断的模糊技术是利用故障征兆的隶属度和诊断矩阵求各种故障元素的隶属度。设诊断对象可能表现的征兆有 m 个,用 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ 表示;可能出现的故障原因有 n 个,用 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 表示。

故而故障征兆模糊矢量为:

$$X = (\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \mu_{x_3}, \dots, \mu_{x_m}) \quad (1)$$

式中 $\mu_{x_i} (i=1, 2, 3, \dots, m)$ 是对象特征 x_i 的隶属度。

故障原因模糊矢量为:

$$Y = (\mu_{y_1}, \mu_{y_2}, \mu_{y_3}, \dots, \mu_{y_n}) \quad (2)$$

式中 $\mu_{y_j} (j=1, 2, 3, \dots, n)$ 是对象具有故障 y_j 的隶属度,则 Y 和 X 的模糊关系表示为:

$$Y = X \cdot R \quad (3)$$

式中的“ \cdot ”是模糊逻辑算子, R 是体现专家诊断经验知识的模糊诊断矩阵,如下表示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (4)$$

可以得到:

$$Y = X \cdot R = (\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \mu_{x_3}, \dots, \mu_{x_m}) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$= (\mu_{y_1}, \mu_{y_2}, \mu_{y_3}, \dots, \mu_{y_n})$$

二维模糊控制器的两个变量输入基本上都选用受控变量值和输入给定值的偏差 e 和偏差的变化 ec ,它们能够较严格地反应受控过程中输出变量的动态特性,此类模糊控制器比一维模糊控制器效果好。

形成规则库,可以从规则表中看出,本文以7个等级形成了规则表,如表1所示。其中等级分别为NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB。

从表1中可见,7等级的则是49条规则。规则表即是规则库。

形成的模糊控制如图3所示。通过MATLAB中的plotfis函数能绘制模糊控制的隶属度函数的规则。

通过模糊控制的流程如4所示。

3 算例仿真

本节设计一个实例,进行仿真,在机载设备的实际使用中暴露出的问题主要有6项,用 x_1, x_2, x_6 表示。

x_1 :接通电源,“恢复”警告灯灭,但“电源正常”指示灯不亮,“故障”指示灯也不亮;

x_2 :电源启动完毕,稳定本振组合报故

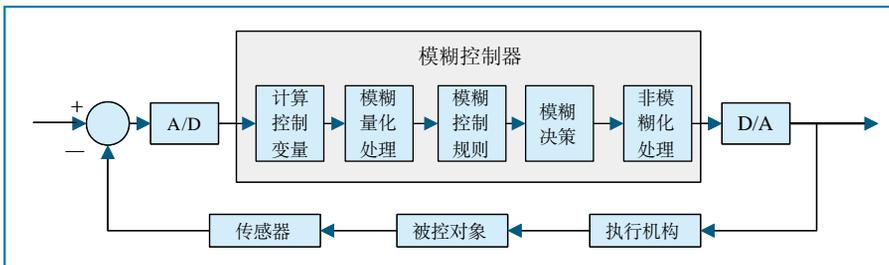


图2 模糊控制器原理图

表1 规则表

U		e							
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
ec	NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NS	ZO
	NM	NB	NM	NM	NS	NS	NS	ZO	PS
	NS	NM	NB	NS	NS	ZO	PS	PS	PS
	ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
	PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM	PM
	PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PM	PB	PB
	PB	ZO	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PB

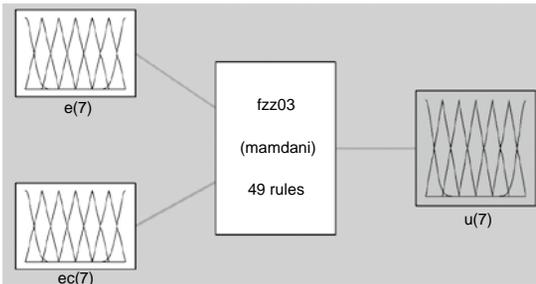


图3 模糊控制器

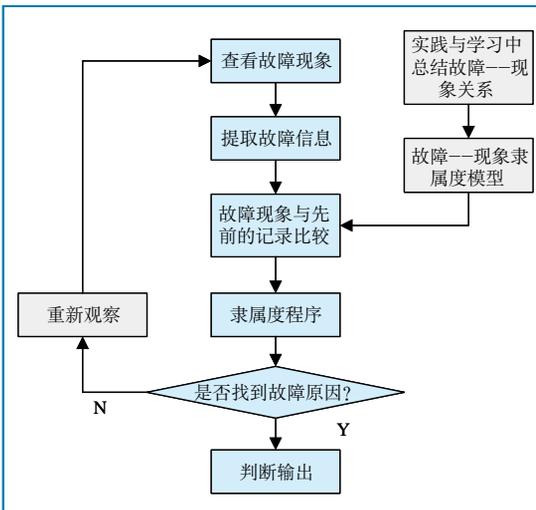


图4 模糊控制流程图

障,其故障警告灯亮,按复位按钮,仍然亮;
 x_3 : 电源启动完毕,接收与时钟组合故障警告灯亮,按控制面板复位按钮,仍然亮;
 x_4 : 发射开关接通后,振荡器故障警告灯一直亮,按复位按钮后,仍保持亮;
 x_5 : 发射接通后,调制器故障警告灯亮,按复位后,仍保持亮;
 x_6 : 发射接通后,高频头故障指示灯亮,按复位按钮,仍保持亮,同时控制面板报馈线故障。

根据对机载部件的原理分析,共有

10个可能的故障原因,用 y_1, y_2, \dots, y_{10} 表示。

- y_1 : “电源正常”指示灯坏;
 - y_2 : 稳定本振组合变换器输出电压低;
 - y_3 : X1板故障,造成元器件失锁;
 - y_4 : X2元件电压超差;
 - y_5 : 采样同步信号幅值太小或者丢失同步脉冲;
 - y_6 : 相干振荡器到高频头的传输电缆损坏或者接触不良,报馈线故障;
 - y_7 : 相干振荡器变换器无2倍重复频率输入,或者灯丝变换器无电压,致使灯丝电源输出不正常;
 - y_8 : 灯丝变换器X3板故障;
 - y_9 : 调制管栅偏压超差不正常或没有电压;
 - y_{10} : 高频头与天线之间馈线接触不良或者损坏或者X4板故障检测门限低。
- 根据实际测量的工作电压正常和故障状态电压,代入模糊规则表,并归一化处理,模糊矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0.9 & 0 \\ 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

式中,“0.9”表示征兆 x_i 与故障 y_j 有密切关系;“0.7”表示有较紧密关系;“0.3”表示有点关系,但关系不明显;“0”表示无关。

检测到故障征兆矢量为 $X=(0 \ 0 \ 0.7 \ 0.9 \ 0 \ 0)$,根据式(5)能够得到 $Y=(0 \ 0 \ 0.7 \ 0.7 \ 0.9 \ 0.7 \ 0.7 \ 0 \ 0)$,由隶属度原则可知,最有可能发生的故障为 y_6 ,即故障诊断结果为相

干振荡器到高频头的传输电缆损坏或者接触不良,报馈线故障,与实际情况相符。

4 结论

实际因素的复杂性决定了故障与征兆之间的关系很难用精确的数学模型来表示,本文通过模糊推理方法解决该问题。模糊控制不需要被控对象的数学模型,可以通过自主的在线方式来学习知识,体现智能控制的特点和优势。通过模糊控制处理的诊断系统准确率高,具有较高的推广应用价值。

本文设计了故障诊断的模糊控制器,并结合实际算例进行验证,可以看出基于模糊控制的故障诊断方法在检测机载设备中使用是完全可行的。但结果还可以进行优化,例如,和神经网络进行结合来设计控制器,设计效果更优。 **AST**

参考文献

- [1] 陈必然,霍立平,黄斌.基于模糊神经网络的机载设备智能故障诊断系统[J].光电工程,2007,34(11):131-134.
- [2] 吴卫玲,李鹤.机载设备智能故障诊断方法综述[J].海军航空工程学院青岛分院学报,2003,1:80-85.
- [3] 潘海兰,蒋文蓉,吴嘉琪.基于自适应神经网络加权模糊故障诊断研究[J].计算机测量与控制,2011,19(7):1599-1632.
- [4] 严浙平,赵智,迟冬南,陈涛.基于自适应融合的UUV推进器故障诊断方法[J].中国控制会议,2013:4253-4258.
- [5] 韦巍.智能控制技术[M].北京:机械工业出版社,2000:36-38.

作者简介

郭昆,工程师,主要从事飞控、惯导产品检测、故障诊断工作。