

基于灰色关联度和模糊贴近度的复杂设备瞬态虚警辨识^{*}

张雨 温熙森

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘 要 分析了电子设备和武器装备的 BIT 系统虚警形式之一——瞬态虚警的产生原因和一般的预防措施; 提出运用灰色关联度和模糊贴近度对瞬态虚警进行辨识并给出了这两种方法的基本原理; 分别采用数值模拟和物理模拟的手段, 获得了具有温度、湿度、振动(电源)三环境参数系统的状态变化样本群, 以及因振动(电源)参数突变而产生的瞬态虚警样本; 运用灰色关联度和模糊贴近度方法识别虚警及产生虚警的环境因素, 结果表明两种方法可以胜任要求。

关键词 灰色系统, 模糊逻辑, 瞬态虚警, 辨识, 人工智能

分类号 O 29, O 159, O 235, TN 973. 3

The Identification for Instant False Alarm in Complex Equipment Based on the Measures of Grey Correlation and Fuzzy Nearness

Zhang Yu Wen Xisen

(Department of Mechatronic Engineering and Instruments NUDT, Changsha 410073)

Abstract In the paper the creative causes and protective measures to the instant false alarm, which is one of the types of false alarms taking place in the BIT (Built In Test) system of electronics or weapon equipments, are analyzed. The basic theories of grey correlation and fuzzy nearness are offered in order to identify the instant false alarm. The environmental samples group (which are parameters of the temperature humidity, power or vibration) and instant false alarm sample (which is due to the suddenly varying of vibration or power parameter) are got by both computer and physical simulation. Those samples are analyzed according to the measures of grey correlation and fuzzy nearness, the relationship between the sudden varying of vibration or power parameter and the instant false alarm are identified. The results testify that the measures offered in the paper are practical in the recognition the instant false alarm.

Key words grey system, fuzzy logic, instant false alarm, identification, artificial intelligence

1 瞬态虚警概述

虚警是电子设备和武器装备的 BIT (机内测试) 系统或其它监控电路指示有故障而实际上不存在故障的情况。虚警率高是国内外 BIT 系统普遍存在的问题, 国外 BIT 的虚警率一般可达到 20%, 有些航空电子设备, 如美国空军现役的 F-15 F-16 F/A-18 战机, 其 BIT 的虚警率有时竟高达 30%~70%^[1]; 国内设备的 BIT 虚警率不会比上述数据更乐观。有鉴于此, 防虚警技术在国外得到了重视并进行了相当深入的研究, 在国内由于武器装备的现代化要求, 也已经引起了重视, 但这方面的研究在公开的专业报刊上尚不多见。

虚警类型之一是因状态突变而导致的 BIT 错误指示, 实际上设备并未处于故障状态, 即瞬态虚警。

^{*} 1998年 3月 9日收稿
国防预研基金资助项目
第一作者: 张雨, 男, 1958年生, 博士

出现瞬态虚警有以下的原因^[1]:

- (1)正常系统的偶然故障或偶然的性能变化,如间歇性故障;
- (2)环境条件的影响,如振动、温度等环境参数与设计规范不同;
- (3)不适当的瞬态激励或干扰,如激振、电噪声、电源波动等;
- (4)BIT设计不适合于系统的实际工作环境

其中环境突变是导致产生瞬态虚警的一个重要原因,并因此而引发了瞬态虚警形式并导致出现CND(故障不能复现)和RTOK(重测合格)。要说明的是CND和RTOK的发生率相当高,美国空军试验与评价中心(AFTEC)调查发现飞行时设备的BIT有30%的CND和20%~30%的RTOK出现。美国Rome中心在对SMARTBIT/TSM D技术进行研究时提出了在智能BIT中进行环境应力与虚警故障的关联分析,以提高BIT系统对虚警的检测和决策能力。

减少瞬态虚警有以下的措施:

- (1)在环境突变状态与故障信息两个集合之间进行关联分析,以确定BIT显示的故障是否是由于环境参数瞬时变化造成的,从而辨识虚警;
- (2)在分析不适当瞬态激励频率结构的基础上,采取滤波措施消除干扰影响;
- (3)使BIT的实际工作环境与产品设计环境相匹配;
- (4)采用多次判断、延时判断、延时插入门限等手段来限制瞬态虚警的发生;
- (5)采用信息融合手段,多信息和多方法地对设备状态进行综合辨识与评判

2 辨识方法简述

虚警产生的机理较为复杂,而关键是确定产生虚警的影响因素,从而辨识虚警。可以将产生虚警的复杂装备空间看作为灰色系统或模糊系统,将该空间的输入输出信息作为不甚确定的、具有亦此亦彼模糊性的灰色信息看待。文献^[2]对柴油机系统故障运用灰色关联分析进行了多参数判别,文献^{[3][4]}分别对矿山设备和内燃机主运动副故障运用模糊贴近度进行辨识,结果表明可以提供较可靠的决策依据。本文尝试对环境参数突变状态——瞬态虚警的集合,采用灰色关联度和模糊贴近度两种方法进行辨识,并对两者的特点作了分析。

2.1 灰色关联度

灰色关联分析是灰色系统理论关于动态过程发展态势输入输出关系紧密性的一种衡量方法。灰色系统不同于黑箱,黑箱着重于系统外部行为数据的处理方法;灰色系统也不同于灰箱,灰箱受有边界或框架的约束。灰色系统的灰色关联分析在建模时着重系统内部行为数据间的处理方法和量化,以数据样本群间的几何相似程度来衡量相互之间的接近程度,通过少量样本的统计,建立信息不完全或因果关系不甚明确参数间的相互关联关系,从而使得系统的灰色信息逐渐“白化”。

设有随机离散序列样本群 $\{x_i(k)\}$, $i = 1 \sim m$, $k = 1 \sim N$, x_j 关于 x_i 的 k 点关联系数为:

$$C_{ij}(k) = \frac{\min_j \min_k |x_i(k) - x_j(k)| + K \max_j \max_k |x_i(k) - x_j(k)|}{|x_i(k) - x_j(k)| + K \max_j \max_k |x_i(k) - x_j(k)|} \quad (1)$$

其中:分辨系数 $K \in [0, 1]$ 则 x_j 关于 x_i 的关联度为:

$$r_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N C_{ij}(k) \quad (2)$$

关联度 $r_{ij} \in [0, 1]$ 反映了样本 x_i 和 x_j 之间的联系密切程度,故可用来辨识产生虚警的原因以及是否因某一环境参数突变而导致了瞬态虚警。

2.2 模糊贴近度

所谓模糊贴近度是衡量两个模糊子集接近程度的一个度量,也可以用来衡量两个样本(子集)联系的密切程度,属于模糊系统信息处理的范畴。模糊系统建模方法不同于灰色系统,前者研究外延不明确但内涵明确的对象,后者则反之。模糊贴近度方法对相互关系模糊但内涵明确的各个样本,通过建立模糊向量,以考察各模糊向量间特征参数的贴近程度来获得相互间的接近程度。设已知样本群 $\{S_i\}$, $i =$

1, 2, ..., n, n为其中的子集个数; 另有一样本 T . $\{S_i\}$ 中的子集 S_i 与 T 在某一状态时有模糊向量形式:

$$\left. \begin{aligned} S_i &= \frac{X_{si1}}{u_1} + \frac{X_{si2}}{u_2} + \frac{X_{si3}}{u_3} + \dots + \frac{X_{sik}}{u_k} \\ T &= \frac{X_{T1}}{u_1} + \frac{X_{T2}}{u_2} + \frac{X_{T3}}{u_3} + \dots + \frac{X_{Tk}}{u_k} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则对于样本 T , 可以利用最大最小法计算它与 $\{S_i\}$ 中各子集 S_i 之间的模糊贴近度:

$$N(T, S_i) = \frac{\sum_{k=1}^m (X_{Tk} \wedge X_{S_i k})}{\sum_{k=1}^m (X_{Tk} \vee X_{S_i k})} \quad (4)$$

式(3)和式(4)中: u_k 为特征参数, k 为各个样本(子集)中的特征参数个数, $k=1, 2, \dots, m$; X_{Tk} 为样本 T 中的特征参数; $X_{S_i k}$ 为样本群 $\{S_i\}$ 中的特征参数. 对模糊贴近度 $N(T, S_i) \in [0, 1]$ 取 $\text{Max}\{N(T, S_1), N(T, S_2), \dots, N(T, S_n)\}$, 即获得了样本 T 与样本群 $\{S_i\}$ 中哪一个子集 S_i 最接近的程度, 故模糊贴近度 $N(T, S_i)$ 也可用来辨识是否因环境参数突变而导致了瞬态虚警.

3 瞬态虚警模拟实验及其辨识

采用数值模拟和物理模拟的方法, 考虑温度 $x_1(t)$, 湿度 $x_2(t)$, 振动或电源波动 $x_3(t)$ 等几种环境参数作用于某种电子仪器装备, 使其产生含瞬态虚警的信号输出 $y(t)$.

3.1 数值模拟实验及其分析

3.1.1 数值模拟方法

某些环境参数, 如温度和湿度, 属于缓变参数, 一般不会发生瞬态变化, 它们应当具备随机缓变的特征; 另一些环境参数, 如振动和电源, 则有可能发生瞬态变化, 而一旦发生了瞬态变化, 数据中将含有强烈的趋势项和突变项. 这种环境参数突变往往是导致瞬态虚警的重要原因. 据此分析作如下的数值模拟.

(1) 将例如温度和湿度环境参数的变化描述为具有“随机缓变”的数学模型:

$$x_i(t) = A_i \sin(2\pi f_0 t) \cdot \text{RND}(t) + A_{i0} e^{t/k} \quad t \in (0, \infty), i \in [1, N] \quad (5)$$

其中: A_i 为变化幅度, A_{i0} 为初值, k 为缓变因子, t 为时间, i 为环境参数个数, f_0 为变化频率, N 为环境参数总数.

(2) 将例如振动或电源环境参数那样的变化描述为具有“随机缓变+时刻突变”的数学模型:

$$x_i(t) = \begin{cases} A_i \sin(2\pi f_0 t) \cdot \text{RND}(t) + A_{i0} & t \neq t_0 + \Delta t \\ A_i \sin(2\pi f_0 t) \cdot \text{RND}(t) + A_{i0} e^{(1-\Delta t)} & t = t_0 + \Delta t \end{cases} \quad \Delta t \in (0, 1) \quad (6)$$

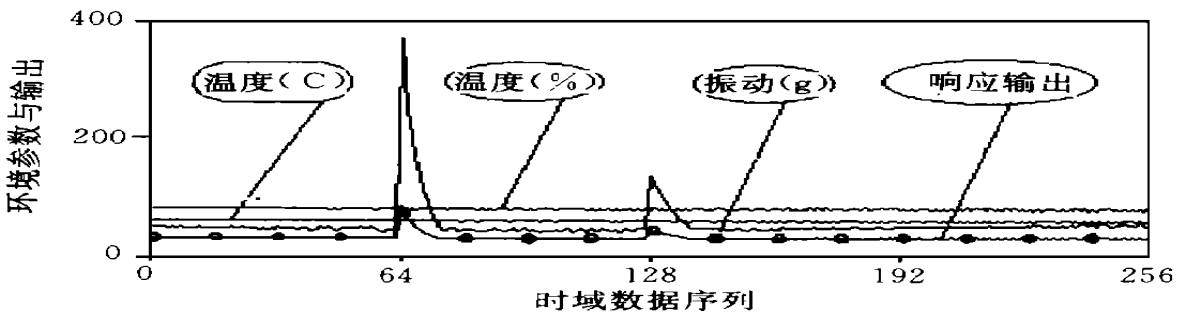


图 1 环境参数突变状态与瞬态虚警的数值模拟

(3) 如果输出中有虚警产生, 它应当是众多环境参数变化结果的函数: $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$, 本文为数值模拟的方便起见, 不妨简单地假设为 $y = \sum x_i(t)$. 用计算机对上述环境参数和输出参数的变化进行数值模拟, 结果如图 1, 在振动参数的第 64 点和第 128 点处分别给出了突变振幅, 并因此在响应信号中引起了瞬态虚警.

3.1.2 灰色关联度辨识结果

用灰色关联度对图 1所示瞬态虚警直接辨识结果如表 1 其中“振动-虚警关联度与其它关联度的最大比值”,指振动-虚警关联度与温度-虚警关联度或湿度-虚警关联度的比值取大者;该比值反映了所用的数据预处理方法和被处理的数据区间,能否辨识出因振动参数振幅突变引起的输出信号瞬态虚警,从而能够提升对瞬态虚警的辨识能力。

表 1 灰色关联度对瞬态虚警的辨识结果(直接使用图 1数据)

被处理的 数据区间	环境参数对虚警状态的灰色关联度			振动-虚警关联度与 其它关联度的最大比值
	温度-虚警	湿度-虚警	振动-虚警	
64~ 80	0.4667	0.4679	0.4380	0.9385
64~ 90	0.4902	0.4913	0.3999	0.8159
64~ 100	0.5108	0.5119	0.3833	0.7504
64~ 138	0.5332	0.5345	0.3643	0.6832
1~ 256	0.9820	0.9815	0.9623	0.9799
32~ 160	0.9696	0.5345	0.3643	0.6832

表 1试图直接使用图 1的数据进行灰色关联度分析,结果为其振动-虚警关联度与其它关联度的最大比值均小于 1,已不能进行辨识。为了提高用灰色关联度辨识是否存在虚警状态的效果,采取下列措施:设置判别门限(±5%) A_i ;对图 1所示时域数据序列进行预处理而形成新的时间序列 $\{x_i(t)\}$;令:

$$x_i(t) = \begin{cases} 1, & x_i(t) \geq A_{i0} + (1 + 50\%)A_i, \\ 1, & x_i(t) \leq A_{i0} - (1 + 50\%)A_i, t \in (0 + \infty) \\ 0, & x_i(t) \in \{A_{i0} \pm (1 + 50\%)A_i\} \end{cases} \quad (7)$$

按式(7)对图 1所示数据序列进行预处理,再用灰色关联度所作的辨识结果如表 2可见辨识效果有明显改观。另外注意到,被处理的数据区间长度对提升虚警辨识能力有影响。对图 1所示包含两次幅度突变的长时间序列进行分析(1~ 256全部时间序列;或 32~ 160去除部分数据),其效果并不佳。较好的情形是当检测到有幅度突变时,才采集部分数据并进行处理分析。表 2对自第 64点(第一次出现幅度突变)开始取定长的时间序列——64~ 80 64~ 90 64~ 100 64~ 138——作预处理后进行灰色关联度分析,其结果均大于 1,表明可以辨识引起瞬态虚警的环境参数。

表 2 灰色关联度对瞬态虚警的辨识结果(按式(7)预处理)

被处理的 数据区间	环境参数对虚警状态的灰色关联度			振动-虚警关联度与 其它关联度的最大比值
	温度-虚警	湿度-虚警	振动-虚警	
64~ 80	0.6471	0.6471	0.8752	1.3526
64~ 90	0.5309	0.5309	0.8541	1.6089
64~ 100	0.4775	0.4775	0.8444	1.7684
64~ 138	0.4489	0.4489	0.7170	1.5972
1~ 256	0.9662	0.9662	0.9743	1.0084
32~ 160	0.9328	0.9328	0.9490	1.0174

3.1.3 模糊贴近度辨识结果

对图 1所示时域数据序列 $\{x_j\}, j \sim j_1$, 建立下列的特征参数 $u_k, k=1 \sim 4$
 u_1 为反映数据序列变化能量的方根幅值:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=j_0}^{j_1} (x_j - \bar{x})^2}, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=j_0}^{j_1} x_j, n = j_1 - j_0 \quad (8)$$

u_2 为反映数据序列变化剧烈程度的峭度因子:

$$u_2 = \frac{1}{n \cdot u_1^3} \sum_{j=j_0}^{j_1} (x_j - \bar{x})^4 \quad (9)$$

u_3 为数据序列 $\{x_j\}, j \sim j_1$ 中的最大绝对值:

$$u_3 = \max\{|x_{j_0} - \bar{x}|, |x_{j_0+1} - \bar{x}|, \dots, |x_{j_1} - \bar{x}|\} \quad (10)$$

u^4 为数据序列 $\{x_j\}$, $j \sim j$ 中第一次有幅度突变并且超出判别门限 $(1 + 50\%)A_j$ 时的量值:

$$u^4 = \{x_j - \bar{x}, j = j_0 \sim j_1, x_j \geq (1 + 50\%)A_j, x_j > x_{j-1}\} \quad (11)$$

对图 1 所示环境参数和响应, 首先按式 (7) 进行预处理, 然后据式 (8)~ (11) 所给的特征参数计算方法建立模糊向量。据式 (4) 所示的最大最小法, 取不同的时域分析数据序列 (区间) $\{x_j\}_{j \sim j}$, 所得的对图 1 所示瞬态虚警的模糊贴近度辨识结果如表 3。为了便于比较各个环境参数对虚警状态的模糊贴近度差别, 对各贴近度数值作了归一化处理。

由表 3 可知, 模糊贴近度方法可以辨识因环境参数突变所产生的瞬态虚警, 被处理的数据区间长度对提升虚警辨识能力有些影响, 可仿照采用灰色关联度的情形办理, 即当检测到有幅度突变时才采集部分数据并进行处理分析。

表 3 模糊贴近度对瞬态虚警的辨识结果

被处理的 数据区间	环境参数对虚警状态的模糊贴近度		
	温度 虚警	湿度 虚警	振动 虚警
64~ 80	0.1293	0.0542	0.8165
64~ 90	0.1204	0.0484	0.8313
64~ 100	0.1134	0.0414	0.8452
64~ 138	0.0506	0.0369	0.9125
1~ 256	0.1245	0.0190	0.8565
32~ 160	0.0501	0.1595	0.7904

3.2 物理模拟实验及其分析

3.2.1 物理模拟方法

在环境参数突变状态与瞬态虚警的物理模拟实验时, 将调频信号发射机置于具有温度、湿度、振动的环境。因振动导致电源波动而诱发信号发射装置出现虚警, 进而在调频接受装置的输出信号中出现虚

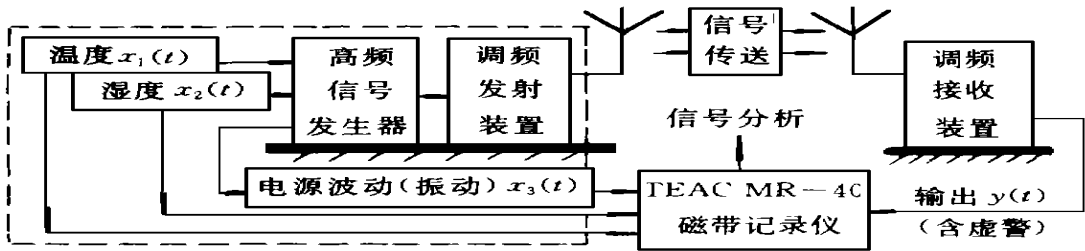


图 2 模拟实验装置系统

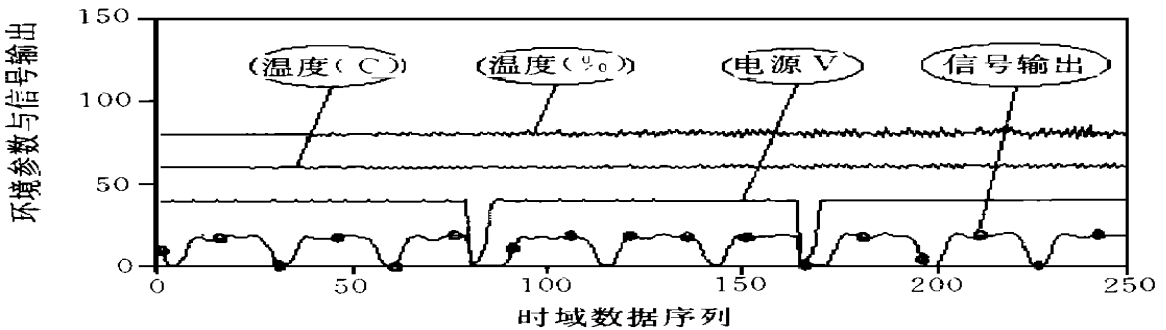


图 3 环境参数突变状态与瞬态虚警物理模拟结果

警; 模拟装置构成如图 2。图 3 是环境参数 (电源) 突变状态与瞬态虚警的物理模拟实验时域数据序列。

3.2.2 运用灰色关联度和模糊贴近度的辨识结果

由图 3 知, 电源参数因振动而在时域数据序列第 80 点和第 165 点出现波动, 从而在调频接受装置的输出信号中出现虚警。运用灰色关联度和模糊贴近度对图 3 所示瞬态虚警的辨识结果如表 4。

表4 灰色关联度和模糊贴近度对瞬态虚警物理模拟实验的辨识结果

被处理的数据区间	环境参数对虚警状态的灰色关联度				环境参数对虚警状态的模糊贴近度			
	温度-虚警	湿度-虚警	电源-虚警	最大比值	温度-虚警	湿度-虚警	电源-虚警	
75~85	0.6241	0.6223	0.7785	1.2474	0.1112	0.2061	0.6827	
80~95	0.5823	0.5818	0.5447	0.9355	0.1771	0.2593	0.5637	
80~110	0.5338	0.5338	0.7396	1.3855	0.1773	0.2885	0.5343	
80~125	0.5336	0.5332	0.7248	1.3583	0.1935	0.3080	0.4985	
80~180	0.5310	0.5309	0.7447	1.4020	0.2032	0.3251	0.4717	
1~250	0.4302	0.4309	0.4418	1.0253	0.2420	0.3789	0.3792	
40~200	0.7425	0.7425	0.7626	1.0270	0.2205	0.3448	0.4348	

由表4可知:灰色关联度和模糊贴近度可以辨识因电源参数突变而导致的设备输出瞬态虚警;当检测到有环境参数幅度突变时,才采集部分数据并进行处理分析,如处理范围为第75~85点或第80~110点,其辨识效果较好。

4 结论

- (1)环境参数突变是导致瞬态虚警的重要原因;
- (2)可以将产生虚警的复杂装备空间看作为灰色系统或模糊系统;
- (3)分别采用数值模拟和物理模拟的方法,产生了温度、湿度、振动或电源波动等几种环境参数作用于某电子仪器装备,使其产生含瞬态虚警的信号输出的情形;
- (4)运用灰色关联度和模糊贴近度措施,对采用数值模拟和物理模拟方法产生的环境参数的突变——瞬态虚警输出的信号样本群进行了辨识,结果是成功的;实际运用中应将这两种辨识方法结合使用;
- (5)为了提高用灰色关联度辨识的效果,可以采取设置判别门限 $(1+50\%)A_i$,对时域数据序列进行预处理而形成新的时间序列 $\{x_i(t)\}$,即按式(7)对数据进行预处理;
- (6)应用模糊贴近度措施时,对时域数据序列所采用的特征参数是:方根幅值、峭度因子、最大绝对值、第一次幅度突变并超出判别门限 $(1+50\%)A_i$ 的时域数值;
- (7)对于数据样本长度,以检测到有环境参数幅度突变时才采集部分数据并进行处理分析为好。

参考文献

- 1 曾天翔. 电子设备的测度性及故障诊断技术. 北京: 航空工业出版社, 1996 4~140
- 2 耿遵敏, 冯德振, 等. 灰色关联分析与柴油机故障多参数判别. 应用力学学报, 1977, 14: 128~132
- 3 赵洪玲. 模糊故障诊断专家系统及其应用. 全国设备诊断技术学术会议'93论文集. 1993 10: 468~470
- 4 张雨, 张志沛, 周铁尘. 非线性识别方法在内燃机故障诊断中的应用. 长沙交通学院学报, 1997, 13(3): 10~16