

【其他研究】

一种适合靶场测试装备应用软件的可靠性评估方法

邢维艳,张治政,张玉伦

(华阴兵器试验中心,陕西 华阴 714200)

摘要:针对靶场测试装备应用软件的可靠性评估问题,提出了靶场测试装备应用软件的可靠性建模过程,以某型CCD弹道相机测量系统主控软件的可靠性评估为例,根据实际收集到的失效数据,建立可靠性评估模型,并对该模型的预计有效性和正确性进行验证。该模型可应用于靶场测试装备应用软件的可靠性评估。

关键词:靶场测试;应用软件;可靠性模型;可靠性评估

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)04-0137-04

靶场测试装备应用软件可靠性研究具有重要的现实意义。据美国国防部和国家航空航天局(national aeronautics and space administration, NASA)的统计,当今武器系统项目中的软件可靠性比硬件系统的可靠性要低一个数量级^[1]。对于靶场试验鉴定而言,靶场测试装备应用软件一个显著的特点就是必须使用可靠,试验过程中应用软件一旦失效,不仅无法及时有效地完成试验任务保障,关键参数的错误甚至可能会引起数据录取失败、联网测试失效,甚至可能会对人员、装备安全造成安全威胁^[2-3]。目前,靶场测试装备的应用软件主要强调功能验证,缺乏对其可靠性指标进行考核。为了解决这一问题,一方面,需要对导致靶场测试装备软件可靠性问题的机理进行深入研究,以探寻提高其可靠性的方法;另一方面,需要采用针对靶场测试装备软件的可靠性模型手段,验证其可靠性是否满足工程实用要求。

软件可靠性模型是软件可靠性定量分析技术的基础。以软件可靠模型为支撑的软件可靠性定量分析技术在软件开发过程中具有重要作用^[4]。自1972年,JM软件可靠性增长模型(SRGM)发表以来,已有100多个模型发表^[5-6]。但到目前为止没有一种模型能够适合所有的软件可靠性预测。本文针对靶场测试装备软件的可靠性评估问题提出适合于靶场测试装备应用软件的可靠性评估模型和方法。

1 靶场测试装备软件可靠性模型的建模与评估

1.1 软件可靠性模型的建立过程

第1步:收集和研究所故障数据

故障数据采用记录软件故障的时间间隔和记录软件故障数的方法收集。包括:发生故障的时间、各次故障的间隔

时间、单位时间内的故障次数。故障数据收集后应进行数据分析,根据故障数据列出故障数随时间变化的散点图和直方图。

第2步:建立可靠性评估模型

根据实测收集到的数据和对数据分析认识以及各模型的假设、分布类型,选择一种比较恰当的模型。

第3步:进行模型参数估计

模型参数估计的方法要由故障数据的性质来加以确定,通常使用的方法是具有很好统计性质的最大似然估计方法、最小二乘法。

第4步:获得拟合模型

通过上一步所得到的模型参数的估计值就可以建立起拟合模型,这是由故障数据和所建立的模型形式而获得的。

第5步:进行“拟合效果与精度”测试

通过测试来检查所获得的模型是否与实测数据拟合。如果拟合性较好,说明拟合模型能很好地描述所观察的故障情况;若拟合性不好,就必须检查或重新选择更为恰当模型。

第6步:获得性能度量的估计

通过此步骤可对包括软件可靠性在内的软件系统的性能作出定量的度量。

第7步:做出判定

通过判定以确定系统是否需要继续进行测试,是否可以交付使用。

上述建模过程的流程如图1所示。

1.2 基于失效数据的软件可靠性模型

收集CCD弹道相机主控软件在测试阶段所发生的故障数据,数据的收集采用测试软件故障的间隔时间,收集数据有40组,具体数据见表1。用Matlab画出实测数据的散点图

收稿日期:2011-02-09

作者简介:邢维艳(1980—),女,硕士,工程师,主要从事软件工程研究。

见图 2(a), x 是发生故障的累积时间(单位 h), y 是发生故障的序号, 从图 2(a)中看出: x 和 y 并不是简单的线性关系, 而是某种线性关系, 经观察看出, 曲线有可能是幂函数、指数函数和对数函数的一种。

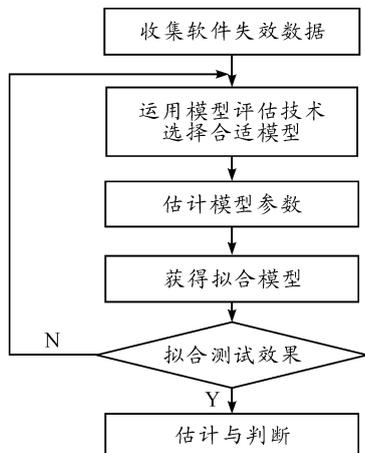


图 1 靶场测试装备软件可靠性建模过程

模型一: 假设 x, y 是幂函数关系, 设 $y = ax^b$ 。

将幂函数两边取对数得

$$\ln y = \ln a + b \ln x \quad (1)$$

由式(1)可知 $\ln x$ 与 $\ln y$ 应呈线性关系, 以 $\ln x$ 为横坐标, $\ln y$ 为纵坐标作图(取 x 为 0.857 2, 10.051 7, 30.817 7, 58.802 7, 93.781 2, 133.297 9, 179.445, 230.622, 285.978 4 9 点), 如图 2(b)所示。所得曲线基本为直线。将上述各点带入式(1)组成超定方程组为

$$\begin{cases} 0 = \ln a - 0.154b \\ 1.6094 = \ln a + 2.3077b \\ 2.3026 = \ln a + 3.4281b \\ 2.708 = \ln a + 4.0742b \\ 2.9957 = \ln a + 4.541b \\ 3.219 = \ln a + 4.8926b \\ 3.401 = \ln a + 5.1899b \\ 3.555 = \ln a + 5.4408b \\ 3.6889 = \ln a + 5.655b \end{cases} \quad (2)$$

解此超定方程组可以得到 $a = 1.1275, b = 0.6332$, 所以此函数的模型为 $y = 1.1275 \times 0.6332$ 。

表 1 软件可靠性模型数据分析

故障序号 y	故障累积时间 x	$\ln x$	$\ln y$	\hat{y}_i	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	0.857 2	-0.154 0	0	1.022 7	380.25	0.000 5
2	2.490 9	0.912 6	0.693 1	2.009 5	342.25	0.000 1
3	4.309 2	1.460 8	1.098 6	2.843 3	306.25	0.024 6
4	7.078 4	1.957 1	1.386 3	3.893 1	272.25	0.011 4
5	10.051 7	2.307 7	1.609 4	4.861 1	240.25	0.019 3
6	13.667 5	2.615 0	1.791 8	5.905 2	210.25	0.009 0
7	16.939 9	2.829 7	1.945 9	6.764 9	182.25	0.055 3
8	20.914 4	3.040 4	2.079 4	7.730 8	156.25	0.072 5
9	26.303 1	3.269 7	2.197 2	8.938 5	132.25	0.003 8
10	30.817 7	3.428 1	2.302 6	9.881 5	110.25	0.014 0
11	36.063 3	3.585 3	2.397 9	10.915 7	90.25	0.007 1
12	41.121 0	3.716 5	2.484 9	11.861 6	72.25	0.019 2
13	47.281 9	3.856 1	2.564 9	12.957 9	56.25	0.001 8
14	52.784 0	3.966 2	2.639 1	13.893 3	42.25	0.011 4
15	58.802 7	4.074 2	2.708 1	14.876 4	30.25	0.015 3
16	64.933 3	4.173 4	2.772 6	15.840 6	20.25	0.025 4
17	72.482 7	4.283 3	2.833 2	16.983 1	12.25	0.000 3
18	78.928 6	4.368 5	2.890 4	17.924 4	6.25	0.005 7
19	85.615 2	4.449 9	2.944 4	18.871 6	2.25	0.016 5
20	93.781 2	4.541 0	2.995 7	19.992 2	0.25	0.000 1

续表

故障序号 y	故障累积时间 x	$\ln x$	$\ln y$	\hat{y}_i	$(y_i - \bar{y})^2$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
21	100.696 0	4.612 1	3.044 5	20.913 4	0.25	0.007 5
22	108.468 1	4.686 5	3.091 0	21.921 5	2.25	0.006 2
23	117.109 5	4.763 1	3.135 5	23.011 7	6.25	0.000 1
24	124.804 8	4.826 8	3.178 1	23.958 0	12.25	0.001 8
25	133.297 9	4.892 6	3.218 9	24.977 8	20.25	0.000 5
26	142.268 6	4.957 7	3.258 1	26.029 5	30.25	0.000 9
27	151.540 7	5.020 9	3.295 8	27.091 2	42.25	0.008 3
28	161.161 5	5.082 4	3.332 2	28.167 9	56.25	0.028 2
29	170.144 8	5.136 6	3.367 3	29.152 2	72.25	0.023 2
30	179.445 0	5.189 9	3.401 2	30.151 3	90.25	0.022 9
31	188.832 3	5.240 9	3.434 0	31.140 7	110.25	0.019 8
32	199.940 6	5.298 0	3.465 7	32.288 4	132.25	0.083 2
33	209.261 2	5.343 6	3.496 5	33.233 5	156.25	0.054 5
34	220.360 2	5.395 3	3.526 4	34.339 1	182.25	0.115 0
35	230.622 0	5.440 8	3.555 3	35.343 2	210.25	0.117 8
36	240.958 3	5.484 6	3.583 5	36.338 1	240.25	0.114 3
37	252.442 1	5.531 2	3.610 9	37.425 3	272.25	0.180 9
38	263.304 8	5.573 3	3.637 6	38.437 1	306.25	0.191 1
39	273.994 9	5.613 1	3.663 6	39.418 0	342.25	0.174 8
40	285.978 4	5.655 9	3.688 9	40.501 1	380.25	0.251 1

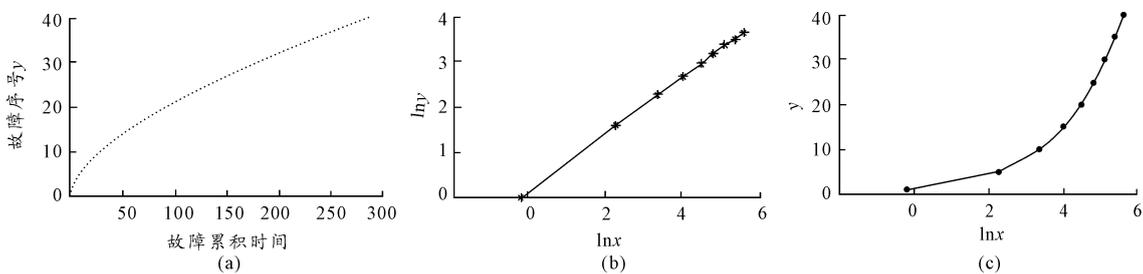


图2 实测数据的散点图

所建立的软件可靠性模型应使它与观测数据拟合的较好,即越接近实测数据的散点图越好,对于曲线拟合的好坏,可以用回归曲线方程的相关系数 R^2 来衡量

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{40} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{40} (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

其中 y_i 是实际观测值。即表 1 中的故障序号 y , \bar{y} 是观测值 y_i 的算术平均值

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{40} y_i / 40 = 19.5 \quad (4)$$

\hat{y}_i 是通过模型所得到的回归值: $y = 1.127 5x^{0.633 2}$ 。将算得的 \hat{y}_i 、 $(y_i - \bar{y})^2$ 、 $(y_i - \hat{y}_i)^2$ 列入表 1,并带入式(3)得到 $R^2 = 0.999 7$ 。

模型二:假设 x, y 关系是对数函数: $y = b \log_a x + c$, 即 $y =$

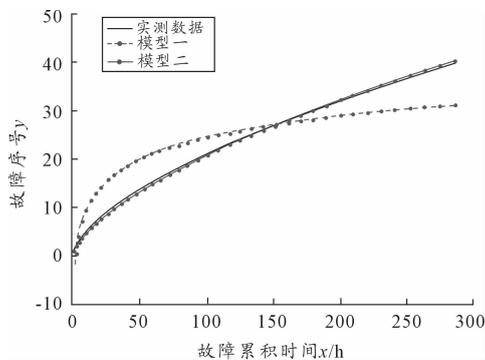
$b \ln x / \ln a + c$ 。设 $d = b / \ln a$, 则: $y = d \ln x + c$ 。取与上面相同的数据, 即 x 为 0.857 2, 10.051 7, 30.817 7, 58.802 7, 93.781 2, 133.297 9, 179.445, 230.622, 285.978 4 9 点数据, 用最小二乘法求出 d, c , 得到软件可靠性模型: $y = 6.520 2 \ln x - 5.517 9$ 。

运用模型一的 3 方法, 计算模型 $y = 6.520 2 \ln x - 5.517 9$ 的回归值 \hat{y}_i ; 按照模型一的方式将其值列入表格。计算回归曲线方程的相关系数 R^2 来衡量软件可靠性模型公式与观测数据拟合的效果, 利用式(4)求得观测值 y_i 的算术平均值: $\bar{y} = 19.5$, 计算 $(y_i - \bar{y})^2$ 、 $(y_i - \hat{y}_i)^2$ 列入表 1, 并根据式(3)求得 $R^2 = 0.693 1$, 拟合效果没有模型一好。

画出模型一、模型二与实测数据比较图如图 3 所示(实线表示实测数据, 虚线表示模型计算数据)。

表2 两种软件可靠性模型比较分析

软件可靠性模型	$\sum_{i=1}^{40} (y_i - \bar{y})^2$	$\sum_{i=1}^{40} (y_i - \hat{y}_i)^2$	R^2	拟合良好所需条件	拟合状况
$y = 1.1275x^{0.6332}$	4 569.5	107.195 4	0.999 7	$\ln x$ 与 $\ln y$ 成线性关系	良好
$y = 6.5202 \ln x - 5.5179$	4 569.5	863.155 4	0.693 1	$\ln x$ 与 y 成线性关系	一般

图3 模型 $y = 1.1275x^{0.6332}$ 、 $y = 6.5202 \ln x - 5.5179$ 与实测数据比较

综上所述,通过分析失效数据散点的大概趋势,建立了2个模型,通过上表可以看出, $y = 1.1275x^{0.6332}$ 的拟合性较好,适合该型号设备主控软件的可靠性评估。软件可靠性模型 $y = 1.1275x^{0.6332}$ 数据收集简单,参数比较容易确定,可操作性较强,比较适合于靶场测试装备应用软件测试数据收集相对困难的实际情况。同时,能够为靶场测试装备应用软件的验收提供一定的参考。

2 结束语

本文通过收集某靶场测试装备(CCD 弹道相机测量系

统)的失效数据,运用 Matlab 画出其散点图,通过观察该图的趋势,建立与其相近的可靠性评估模型,运用可靠性评估模型分析技术,进行拟合性测试,通过计算拟合性来评判所建立模型的优劣。此种方法简单,方便,适合靶场测试装备应用软件目前的现状,为其配套软件的可靠性验收能够提供一定的参考,克服了软件可靠性无法评估,仅对软件的功能进行考核的问题。

参考文献:

- [1] 杨凌燕. 软件可靠性技术应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [2] 徐利明, 杨海波, 张笑. 提高武器装备软件可靠性[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(5): 137-139.
- [3] 徐仁佐. 软件可靠性模型及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 南宁: 广西科学技术出版社, 1994.
- [4] 尚冬娟. 基于测试的软件可靠性评估研究[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- [5] 沈欣, 刘杰. 软件可靠性测试初探[J]. 航空兵器, 2003(4): 23-24.
- [6] 赵勇, 车建国, 郭晓东. 防空武器系统软件可靠性定量分析方法研究[J]. 战术导弹控制技术, 2004(1): 43-46.

(责任编辑 周江川)

(上接第 125 页)

3.5 加快信息化建设步伐, 奠定装备精确化保障的物质基础

目前我军担负着机械化、信息化建设的双重任务, C^4 ISR 系统的各项硬件建设正处于起步时期, 有的甚至还处在摸索试验阶段, 各类信息系统离实战的要求也还有很大的差距; 同时针对“信息化”作战理论体系的研究也刚刚兴起, 必须抓紧和平时期的有利条件, 尽快完成硬件设施的配备和升级换代, 统一信息化技术体制和标准规范, 组织有关人员研究、开发武器装备信息战场感知系统、保障方式智能决策系统、远程保障支援系统、以及反馈信息获取系统等, 推动装备精确化保障迅速发展。

4 结束语

从 20 世纪 90 年代初美军针对世界形势的突出变化首次提出以“精确后勤”为突破口的军事后勤革命, 到科索沃战争中运用的“全天候联合保障”理论, 再到伊拉克战争中全程跟踪保障“物资流”、“装备流”, 发达国家装备精确化保障的理论与实践已日臻娴熟。而未来战争面临的战场信息大爆

炸趋势已势不可当, 基于 C^4 ISR 系统的精确化保障能在战时提供及时、准确、多元全维的武器装备保障信息, 最大限度地提高装备保障效率, 这对于我军力求掌握未来信息化条件下的战争主动权有着重大的现实意义, 应当而且能够作为优先研究和突破的课题之一。

参考文献:

- [1] 郝强. 信息化条件下防空兵建设与发展研究[Z]. 郑州: 防空兵指挥学院, 2006.
- [2] 朱小冬. 信息化作战装备保障[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [3] 单志伟. 装备综合保障工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [4] 赵强, 周林, 陈维, 等. 信息化条件下地空导弹装备保障指挥体系[J]. 兵工自动化, 2009(3): 47-49.
- [5] 侯志亮, 罗建华, 王荣辉, 等. 基于决策树的海战场舰艇意图识别[J]. 四川兵工学报, 2010(9): 43-44.

(责任编辑 周江川)