

微机式继电保护装置应用程序可靠性预计

晏国华 袁德柱 程力 阿城继电器股份有限公司 (150302)

【摘要】 对于微机式保护装置的应用程序(软件)提出了一种新的实用性较强的可靠性预计方法,并且依照分析拓扑中命题相互等价的证明图式方法进一步说明它的合理性。

【关键词】 应用程序(软件) 可靠性预计 模糊因素加权 相互等价

引言

随着现代电力系统的日益复杂化,输电容量和电压等级的不断提高,采用微机式保护装置提高它的精度与智能化水平已是当今该专业技术发展的主要途径。这些装置的可靠性就成为它们的首要技术指标。

软件可靠度的定义与硬件的性质一样,即软件按规定的用法,在规定的时间内不失效的概率;但两者之间却存在着明显区别,即软件在重复执行时是不会变化的,相反,硬件在重复工作时往往功能退化最终导致失效。

微机式保护装置属于微电子技术的应用,它的硬件可靠性技术无论从理论上,还是在实践上都已进入可控成熟阶段;然而它的软件可靠性,特别是在可靠性预计方面,在国内出版物、有关期刊杂志上、学术论文汇编上所见甚少。这就说明实践中的下述两个问题必须设法解决:

第一,在工业产品软件可靠性的理论与实践尚未进入(达到)象硬件可靠性那样的成熟阶段,特别是软件可靠性预计所需的基础数据至今尚未问世或尚未出世。

第二,从事这方面的工作,既有从定性分析转化为定量分析的过程,也有动用多种可以利用的应用数学的观点、方法进行综合分析的历程。

第一个问题不是我们继电保护工作者所能问津的,只好坐等良机。

第二个问题倒是我们继电保护者可以试试

再试试,探索求解的。

由于本专业尚未发现先例可循,作者只好参考有关文献,探索前进,定有不妥,请同行专家批评指正。

1 模糊因数加权可靠性预计

该预计方法用线性代数语言表示之,形式为

$$MTBF_f = \frac{MTBF_2}{\eta_2} \begin{bmatrix} \eta_1 & \circ & \circ & \circ & \circ \\ \circ & \eta_2 & \circ & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \eta_3 & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \circ & \eta_4 & \circ \\ \circ & \circ & \circ & \circ & \eta_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_1 & \circ & \circ & \circ & \circ \\ \circ & \beta_2 & \circ & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \beta_3 & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \circ & \beta_4 & \circ \\ \circ & \circ & \circ & \circ & \beta_5 \end{bmatrix} = \quad (1)$$

1

式中 $MTBF_f$ ——应用程序的平均无故障时间

$[\eta_i]$ ——因数加权(隶属函数)矩阵, $i = 1, 2, \dots, 5$

$[\beta_i]$ ——质量矩阵, $i = 1, 2, \dots, 5$

$MTBF_2 / \eta_2$ ——因素量化值

f ——应用程序的失效率

1.1 决定软件可靠性的因素加权

参阅有关文献后,本文试探决定软件可靠性的因素有5(有7也可以,只是计算比较麻烦而已),其隶属函数符号用 $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_5$ 表示之,通过 Delphi 预测法,它们的含义及函数值如下所示:

(1) η_1 ——符合规范化要求的结构,定值为 0.31;

(2) η_2 ——采用可重用软件(标准化),定值为 0.23;

(3) f_3 ——具有容错(冗余)程序,定值为 0.14;

(4) f_4 ——具有本身故障自动恢复技术,定值为 0.17;

(5) f_5 ——具有高质量模块,定值为 0.15。

1.2 确定质量矩阵 $[f_i]$ ($i = 1, 2, \dots, 5$) 各元的含义及其质量系数值

对于上述决定软件可靠性的因素加权值须考虑到编程质量的高低予以修正。参考有关文献,本文建议采用模糊映射表示如下:

(1) f_1 ——结构符合规范化的程度,

f_1 : [一般, 较高, 很高, 准最高] [0.7, 0.8, 0.9, 0.95]。

(2) f_2 ——可重用软件的比重,

f_2 : [10%, 20%, 30%, 40%, 50% 及以上] [0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1]

(3) f_3 ——容错技术水平

f_3 : [没有, 两版本, 三版本或以上] [0, 0.8, 1]

(4) f_4 ——采用恢复技术的程度,

f_4 : [没有, 关键时、处有, 该有都有] [0, 0.7, 1]

(5) f_5 ——模块的质量水平,采用下述 4 个

分因素质量系数的均值,即 $\frac{1}{4}(f_{51} + f_{52} + f_{53} + f_{54})$;

f_{51} ——扇入、扇出量最好在 4 以内,

f_{51} : [$> 4, 4, 3, 2$] [0.4, 0.6, 0.8, 1.0];

f_{52} ——块间调用参数最好 1 个,

f_{52} : [3, 2, 1] [0.6, 0.8, 1];

f_{53} ——单入、单出口的比重,

f_{53} : [0%, 10%, ..., 100%] [0, 0.1, ..., 1]。

f_{54} ——规模程度,不大于 100 行语句模块所占比重,

f_{54} : [0%, 10%, ..., 100%] [0, 0.1, ..., 1]。

1.3 因素量化值 $MTBF_2/f_2$ 的选择

有了因素加权矩阵 $[f_i]$ 和质量矩阵 $[f_i]$, 利用式(1)进行可靠性预计的关键就在于如何

选用(或估算)单位因数加权值。

根据^[1]可知:

a. 一个软件中可重用软件(标准件)愈多(例如 50% 以上),则可靠性愈高,失效率愈小,即 $MTBF_f$ 愈大。

b. 据统计,失效率 $f_f \cdot (1/MTBF_f)$ 达 $10^{-3}/h$ 就算好的软件了。

首先展开 b 段含义,好的软件失效率 f_f 的范围应该是

$$0.1 \times 10^{-3}/h \leq f_f \leq 1 \times 10^{-3}/h \quad (2)$$

这是因为不等式(2)正好表征了 $10^{-3}/h$ 的水平范围,也就是表征了相应的 $MTBF_f$ 的初期范围,即

$$10000h \leq MTBF_f \leq 1000h \quad (3)$$

其次再考虑 a 段中所谈的可重用软件分担式(3)中 $MTBF_f$ 多少份额是合适(理)的。

如果所有因素都是可重用的,即都是成熟高质的,这将对可靠性的上限值,须知这样一来可重用因素又把其它四个因素的作用也包括进去了,显然这与因素加权又有所矛盾,特别是 f_1 形式多样,不见得是“标准件”,因此,采用下式估算之

$$MTBF_2 = MTBF_f \frac{k_2}{1 + 2 + \dots + 5} \quad (4)$$

式中 K ——裕度系数,即留有余地,可取为 0.9。

将 $MTBF_f = 10000h$ 、 $K = 0.9$ 及上述的 f_i 值代入式(4),可得

$$MTBF_2 = 10000 \cdot \frac{0.9 \times 0.23}{1} = 2070h$$

1.4 小结

到目前为止,综合 1.1 ~ 1.3,应用程序的可靠性指标 $MTBF_f$ 预计式(1)可进一步表示为

$$MTBF_f = \frac{2070}{0.23} \begin{bmatrix} 0.31 & & & & \\ & 0.23 & & & \\ & & 0.14 & & \\ & & & 0.17 & \\ & & & & 0.15 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_1 & & & & \\ & \beta_2 & & & \\ & & \beta_3 & & \\ & & & \beta_4 & \\ & & & & \beta_5 \end{bmatrix} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

式(5)说明:MTBF_f或 f⁻¹以后只决定于质量矩阵 [i] (i = 1, 2, ..., 5) 的具体化了。

2 实例与时变函数

2.1 某一微机式线路保护装置的应用程序, 其因素质量情况如表 1 所述, 试求其 MTBF_f、 f。

解:按 1.2 估算出各质量系数, 再代入式 (5)。

表 1 质量情况及其系数

i	情 况 说 明	系数值
1	结构很符合规范化	0.9
2	可重用软件占 50 % 以上	1.0
3	冗余技术属于两版本	0.8
4	恢复技术该有的都有	1.0
5 ₁	扇入扇出量多在 2 以内	1.0
5 ₂	块间调用参数多数只有 1 个	1.0
5 ₃	单入、单出口的比重占 90 %	0.9
5 ₄	不大于 100 行语句的模块占 95 %	0.9
5	$\frac{1}{4} (1 + 1 + 0.9 + 0.9)$	0.95

将表 1 中的 1、2、...、5 值代入式(5)

$$MTBF_f = \frac{2070}{0.23} \begin{bmatrix} 0.31 & 0 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0 \\ 0 & 0.14 & 0 \\ 0 & 0 & 0.17 \\ 0 & 0 & 0 & 0.15 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.9 & 0 \\ 1.0 & 0 \\ 0 & 0.8 \\ 0 & 1.0 \\ 0 & 0.95 \end{bmatrix} =$$

$$\frac{1}{f} = 8401.5$$

取 8400h 或 f = 8400⁻¹ = 12 × 10⁻⁵/h

2.2 必须指出, 上面所估算出来的数值:

a. 是在应用程序经过反复试验, 发现并修正若干次软件失效 (错误)、即剔除那些前期软件失效后才是有效的, 或在程序初调 f 平衡下降后。

b. f 不是常数, 而是随着错误的暴露、探明和消除而不断变小; MTBF_f 则不断变长, 可见二者都是时变函数。

为简化分析, 式(1)中仅将质量系数 i 表示为时变函数, 即

$$f_i(t) = \frac{1}{2} [i] \cdot [i(t)] = \frac{1}{f_i(t)}, \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (6)$$

式(6)中 $\frac{1}{f}$ —— MTBF_f
 $\frac{1}{2}$ —— MTBF₂/ 2

3 因数加权法合理性的图示证明

3.1 杜安可靠性预计模型

该模型属于递减失效率时变函数, 70 年代以来已成功地适用于多种软件, 取得了满意的结果。如果因素加权法能与该模型法具有一一对应关系, 则可说明它的合理性, 因此有必要予以简介。

该模型的函数为 $\lambda = \lambda_1 T^{-\theta}$ (7)

式中 λ ——所观察的累积失效率 (即总失效数 ÷ 总运行时间);

λ_1 ——被估初始失效率 (在 T = 1 时的值);

T = t ——所观察的总运行时间 (小时数、天数);

θ ——被估递减率 (对 λ 而言) 或增长率 (对 MTBF 而言) 参数。

计算相继每次软件失效时的 λ 值, 同时在双对数纸上画下 λ 和 T 的数据点 (或在普通坐标纸上画 $\ln \lambda$ 和 $\ln T$), 这样用模型来拟合数据, 总是具有较好的线性, 如图 1 所示。在计算可靠性预计时删去那些前 (早) 期试验数据, 这不影响预计的置信度。也就是失效率开始平稳下降以后。

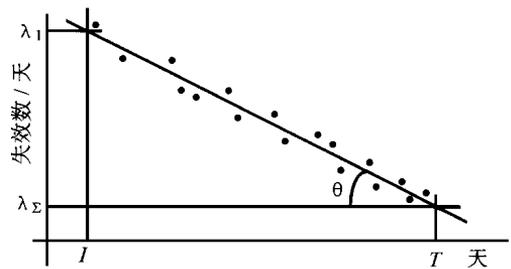


图 1 杜安 (Duane) 图

杜安曲线的位置参数 λ_1 、斜率 θ 可直接从图 1 中估计。斜率 θ 还可用式 (8) 计算

$$\theta = (\ln \lambda_1 - \ln \lambda) / \ln T \quad (8)$$

通过最优拟合直线的外插法作预测, 就可给出相应于未来 T 值的 λ 的点估计。 λ 的典型值在 0.2 ~ 0.7 之间, 平均趋于 0.4。

3.2 f (t) 与 Duane 曲线的对应关系

我们可以在理解 2.2a、b 两段说明的前提

下，式 (6) 完全可以视为 5 维模糊矢量空间，它的矢量较为容易地一对一地映射到二维的 Duane 曲线上，如图 2 所示。

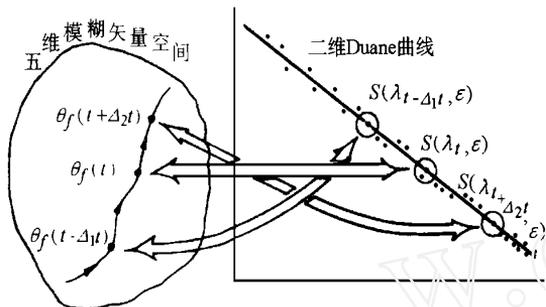


图 2 二者对应映射关系图

图中a. 表示相互对应、蕴含。

b. $S(x, \epsilon)$ 表示中心为 x 、半径为 $\epsilon > 0$ 的开圆，即 x 的邻域， x 为 Duane 曲线上的对应点。

c. t_1, t_2 表示不相等的两个时间间隔。

图 2 说明， $\theta_f(t_x)$ 映射到 x 的邻域内即可，所称之为模糊映射，又下标 $x \supset t - t_1, t, t + t_2$ 。

3.3 相互等价关系

仿照分析拓扑中命题相互等价的证明方式，上述关系也可图示为

需要说明的还有：对于同一个应用程序，不同人员对它进行可靠性测试，对它的错误发

现与纠正都不可能完全一样，它的失效点常常落在 Duane 曲线附近，而不是正好落在曲线上，所以在图 2、图 3 上用 x 的邻域 $S(x, \epsilon)$ 表征这种离散性更为符合实际。

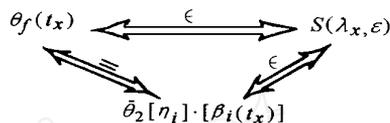


图 3 相互等价关系图

3.4 小结

综合上述 3.2 和 3.3，我们可以确认：在软件可靠性管理尚未健全之前，采用本文所述的因素加权法估算软件可靠性的 θ_f (MTBF_f) 或 θ_f 是具有合理性的，可以试用，摸索前进，总结提高，它具有实用性。

参考文献

- 1 何国伟. 关于软件可靠性的若干问题. 计算机世界, 1991, (69).
- 2 白同朔, 杨翠莲译. 可靠性与可用性评估手册. 上海交大出版社, 1986: 140~142.
- 3 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津科学技术出版社, 1983: 188~193.
- 4 寿纪麟. 分析拓扑引论. 西安交通大学出版社, 1988: 153~154.

晏国华, 男, 1927 年生, 高级工程师, 从事继电保护自动化与可靠性研究工作。

RELIABILITY PREDICTION ON APPLICABLE PROGRAM OF MICROPROCESSOR BASED RELAY PROTECTION

Yan Guohua, Yuan Dezhu, Cheng Li (Acheng Relay Corporation, 150302, Acheng, China)

Abstract A new reliability prediction method of stronger practicality for the applicable program (software) of microprocessor - based protection is presented. Its reasonableness is explained furtherly according to the reasoning way that the questions assigned are equivalent each other in topology analysis.

Keywords Applicable program Software Reliability prediction Fuzzy factor weighting Inter Equivalent