文章编号: 1673-5196(2006)04-0102-03

基于双指数平滑方法的通信软件可靠性分析

黎锁平[1], 武会超[2]

(1. 兰州理工大学 理学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 阐述了单指数平滑方法和双指数平滑方法,并用这两种可靠性模型对一通信软件系统的可靠性进行分析预测.通过同传统软件可靠性增长模型的预测结果进行比较,可以看出双指数平滑方法简单,没有复杂的数学计算,而且对通信软件的失效行为的预测更加准确.

关键词: 通信软件; 软件可靠性; 双指数平滑

中图分类号: TN915 **文献标识码**: A

Analysis of communication software reliability based on double exponential smoothing technique

LI Suo-ping[1], WU Hui-chao[2]

(1. School of Science, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. College of Computer and Communication, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Single exponential smoothing technique and double exponential smoothing technique were studied and the reliability of a concrete communication software was analyzed and predicted by using these two models. Through comparing the prediction result with that of traditional software growth reliability models, it could be seen that the double exponential smoothing technique not only was simple without complicated computation but also was able to provide more accurate prediction.

Key words: communications software; software reliability; double exponential smoothing

通信技术的快速发展和广泛应用,为通信相关软件提供了广阔的空间,通信业是软件应用的一个大领域,可以说今天已经到了软件在通信中无处不在的地步,交换、传输乃至于终端设备的运行控制、智能业务的提供、网络的管理、营业服务等无不包含大量的软件.通信软件一旦投入运行,就要一直运行下去,除非发生故障,因此要求通信软件系统具有很高的可靠性.例如 H20-20 数字程控交换机是世界先进的综合业务交换机,其可靠性要求年均故障小于 3s.在过去的几十年里已经建立了很多种可靠性模型[1],这些模型是评估、预测和分析通信软件可靠性的重要工具,为软件开发者掌握软件开发进度提供了决策支持.传统的可靠性模型,如J-M 模型[2]、G-O 模型[3]和S 形模型[4]在用来分析通信软件故障信息时都是十分有用的,但是这些模型的预测能力值得怀疑,因为这类模型注重的是前期的故障信息,对早期的可用信息赋予较高的权重.随着软件的发展,对未来失效行为的预测变得更加重要,尽管大量的文献都提到这一点,但是一直没能提出具有更好预测能力的其他方法.

指数平滑预测方法是一类操作简易、适应性强、性能优良的预测模型.指数平滑方法有两个显著的特点, 一是利用了全部历史统计数据, 二是遵循"重近轻远"的原则加权平均.这主要是因为当前的数据较前期的数据对未来事件的影响更大,对通信软件的测试更是如此.指数平滑模型中的元素对使用者具有直观的意义,并且只需要有限的数据存储和计算,因此作为一种对软件的失效行为具有较高准确性的预测方法,很值得做进一步的研究.

1 单指数平滑方法及其应用

指数平滑模型具有简单性和无参数性的特点,

收稿日期: 2005-09-10

基金项目: 国家自然科学基金(70471002),甘肃省自然科学基金(ZS032-B25-031)

作者简介: 黎锁平(1965-),男,甘肃合水人,博士,教授.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

它具有较强的预测能力.当未来的事件更多依靠最近的而不是很久以前的数据时,这种方法更加有用.单指数平滑法的基本公式为

$$S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)S_{t-1} \tag{1}$$

式中:S_t 表示t 时刻所预测到的下一时刻的通信软件故障次数;Y_t 表示t 时刻所观察到的软件故障次数,S_{t-1}表示$t-1$ 时刻对软件故障的预测值;α 为平滑系数,其取值范围为[0,1].

由式(1)可知:

1) S_t 是 Y_t 和 S_{t-1} 的加权平均数,随着 α 取值的大小变化,决定 Y_t 和 S_{t-1} 对 S_t 的影响程度,当 α 取 1 时,$S_t = Y_t$;当 α 取 0 时,$S_t = S_{t-1}$.

2) S_t 具有逐期追溯性质,可探源至 S_1 为止,包括全部数据.在预测过程中,早期数据的影响程度呈指数级递减,故称之为指数平滑法.指数平滑系数取值至关重要.平滑系数决定了平滑水平以及对预测值与实际结果之间差异的响应速度.平滑系数 α 越接近于 1,远期预测对本期预测值的影响下降越迅速;平滑系数 α 越接近于 0,远期预测值对本期平滑值影响程度的下降越缓慢.由此,当时间数列相对平稳时,可取较大的 α;当时间数列波动较大时,应取较小的 α,以不忽略远期实际值的影响.在可靠性预测中,平滑系数的值取决于通信软件失效数据的特征.

3) 尽管 S_t 包含有全期数据的影响,但实际计算时,仅需要两个数值,即 Y_t 和 S_{t-1},再加上一个系数 α,这就使指数滑动平均具有逐期递推的性质,从而给预测带来了极大的方便.

预测软件故障是单指数平滑方法的一个直接应用.下面给出一个实际的数字例子,如表 1 所示[5].从表中失效数据能够看出,25 个月后故障次数有一个突然的增加,这个系统由两个子系统组成,一个子系统在另一个子系统运行一段时间后才开始运行.

利用单指数平滑方法对最近 12 个月的预测结果见图 1,所用到的初始值由第 39 个月的故障数据得到,平滑系数的取值为 $\alpha=0.7$.在这种情况下 α 的取值较大,主要考虑到下一个月的故障次数是由当前的数据而不是由前期的数据决定的.可以看到,单指数平滑方法能够很好地对故障数据的变化趋势进行预测,但同时也发现这种预测有明显的滞后性,致使这种模型预测的准确性也受到影响,可以看出它的预测误差很大.为了克服这种缺陷,必须对单指数平滑方法进行改进.

表 1　一大型通信软件系统的故障数据

Tab.1　Failure data of large communication software system

月份	系统故障	月份	系统故障	月份	系统故障	月份	系统故障	月份	系统故障	月份	系统故障	月份	系统故障
1	2	9	7	17	2	25	39	33	11	41	2	49	0
2	11	10	6	18	0	26	20	34	14	42	5	50	2
3	18	11	17	19	3	27	12	35	8	43	3		
4	10	12	31	20	2	28	13	36	7	44	4		
5	12	13	8	21	1	29	26	37	8	45	4		
6	4	14	7	22	1	30	33	38	0	46	1		
7	28	15	10	23	4	31	8	39	2	47	3		
8	6	16	2	24	3	32	8	40	3	48	1		

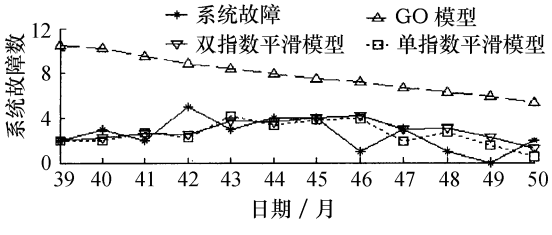

图 1　几种模型的预测值同实际观测值的比较

Fig.1　Comparison of predicted values using some models with actual observation

2　双指数平滑方法及其应用

考虑到单指数平滑方法的滞后性,使得模型的拟合程度不高,而这种拟合度在通信软件可靠性预测中是很重要的一个方面.为了解决这个问题,设计出了一种双指数平滑方法,它要求两个平滑系数 α 和 β.两个平滑方程如下:

$$S_i = \alpha N_i + (1-\alpha)(S_{i-1} + G_{i-1}) \tag{2}$$

$$G_i = \beta(S_i - S_{i-1}) + (1-\beta)G_{i-1} \tag{3}$$

式中:S_i 表示在i 时刻的截距,G_i 表示i 时刻的斜率.

式(2)和单指数平滑方法很相似,式(3)可以提高模型的拟合度.根据双指数平滑方法,下一个时间点的失效次数的预测值可由下式得到:

$$F_{i+1} = S_i + G_i$$

k 步预测值 F_{i+k} 可用下式算出:

$$F_{i+k} = S_i + kS_{i+1}$$

在通信软件可靠性预测中,单指数平滑方法拟合度不高,但是应用双指数平滑方法不但能解决这一问题,而且仍然保留着其简单性的特点.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从表面上看，双指数平滑方法撇开了软件故障之间的任何关系，但事实上，由于双指数平滑方法反映了曾经发生过的所有相关因素的影响，双指数平滑方法可从总的方面进行考察，来说明其作用力的综合作用，这就是双指数平滑模型能够成为有效预测工具的理论基础．因此，当所关心的指标的影响因素错综复杂或有关的数据资料无法得到时，就直接采用时间作为变量来综合代替这些因素．时间作为一个明确的自变量进入模型，其意义表面上是故障次数随时间变化而变化，而实际上是代表了决定此故障次数变化的各因素的综合影响．

双指数平滑方法在开始时要求有一个初始值，这个初始值可由最初的两个观测值得到．实际上在对通信软件的可靠性进行预测时，大部分模型都要求首先对软件进行一定量的测试，然后才能对其可靠性进行预测，所以对初始值的确定并不是双指数平滑方法特有的问题．其次，双指数平滑方法在预测的过程中并不是特别依靠早期的数据信息，因为这些数据的权重在测试过程中呈指数级递减．

尽管有一些对时间序列方法的讨论[6,7]，但它们大部分都与移动平均相关．双指数平滑方法强调对变化趋势的分析，它的优点是不要求存储大量的观测值，只需要最近的 S_i 和 G_i 两个值，只要有新的观测值就能很快地对预测值进行更新．

为了更直观地了解双指数平滑方法的预测效果，仍用上文给出的通信软件系统的失效数据，对该通信软件系统的可靠性进行预测．用双指数平滑方法对最近 12 个月的系统故障进行一步预测，所用到的初始值是由最初两个月的数据得到的．平滑系数的取值为 $\alpha=0.7$，$\beta=0.1$．从图 1 可以看到，双指数平滑方法能够很好地对数据的变化趋势进行预测．

3 同其他一些软件可靠性增长模型的比较

近 30 多年里，软件可靠性模型理论的研究为预测通信软件的可靠性提供了大量的有力工具，但至今还没有一个模型被证明在实际应用中总是优于其他模型．对时间序列模型研究的目的就是为预测通信软件未来的故障次数开发一种分析体系，为描述通信软件中潜在的故障提供一种方法．

下面将指数平滑方法和其他常用的软件可靠性增长模型对相同数据的分析结果进行比较，用到的模型主要是 G-O 模型．G-O 模型的中心思想是在互不重叠的时间段内，软件失效次数服从 Poisson 分布，且直接刻画软件失效过程．假定：(1) 对于任一组有限时间点 $t_1<t_2<\cdots<t_k$，在对应时间段 $(0,t_1)$，(t_1,t_2)，(t_{k-1},t_k) 内分别发生的故障数 $f_1,f_2,\cdots,f_k$ 相互独立；(2) 到任一时刻 t 为止所累积发现的软件失效函数 $N(t)$ 服从均值为 $m(t)$ 的 Poisson 分布．模型基本公式为

$$m(t)=Q(1-e^{-bt})$$

式中：b 为比例常数，Q 是最终可能被检测出的软件失效总数的期望值．通过给出的一系列数据，模型中的参数估计可以用最大似然估计方法，当函数关系确定时，则下一个时间段的故障次数可由 $m(i+1)-m(i)$ 得到．

利用表 1 通信软件系统的失效数据，将 G-O 模型、单指数平滑方法和双指数平滑方法对最近 12 个月的一步预测结果进行比较，如图 1 所示．这三种模型预测结果的绝对误差之和分别为 64.2、15.3 和 13.3．从预测结果可以看出，双指数平滑方法是预测效果最好的一种模型．从图 1 能够很清楚地看出，双指数平滑方法提供了更加准确的预测效果，并且克服了单指数平滑模型的缺点，提高了模型的拟合度．

4 结论

通过运用 G-O 模型、单指数平滑方法和双指数平滑方法对同一通信软件的可靠性进行预测的结果表明，双指数平滑方法用来预测通信软件故障是一种较好的方法，它简单，没有复杂的数字计算，可直接使用，并且同其他的可靠性增长模型相比预测结果更准确．

参考文献：

[1] 徐仁佐，谢 ，郑仁杰．软件可靠性模型及应用 [M]．北京：清华大学出版社，1994．

[2] GREIBERGER W．Statistical Computer Performance Evaluation [C]．New York：Academic Press，1972：465-484．

[3] GOEL A L，OKUMOTO K．Time dependent error detection rate model for software reliability and other performance measures [J]．IEEE Tran Rel，1979，R-28(3)：206-211．

[4] YAMADA S，OHBA M，OSAKI S．S-shaped software reliability growth models and their applications [J]．IEEE Trans Rel，1983，R-32(4)：289-292．

[5] WILEY J．Proceedings of the International Symposium on Software Reliability Engineering [C]．Toulouse：Computer Society Press，1995：188-194．

[6] 李少元，曹保定，孟昭忠，等．基于时间序列分析方法的预测模型研究 [J]．河北工业大学学报，1995，24(3)：7-11．

[7] 徐国辉，余春林．时间序列分析方法的研究 [J]．广州大学学报：自然科学版，2003，2(6)：556-559．

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net