

电信系统可靠性评估方法案例研究

史栋杰 顾庆 冯光成 陈道蕃

(南京大学计算机科学与技术系 计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

摘要 为了保证一个系统的质量,有必要对其可靠性进行评估。使用平均值方法、定数截尾试验、定时截尾试验、曲线拟合回归分析等常用的可靠性评估方法对目标系统进行可靠性评估,并比较几种可靠性评估方法的准确程度。最后提出使用曲线拟合改进的评估方法,使得可靠性评估结果更加准确。目标系统是 4 个电信运营中重要的系统设备,使用残差分析 R^2 检验来比较评估结果的优劣。

关键词 可靠性,定数截尾试验,定时截尾试验,曲线拟合, R^2 检验

Research on Reliability Evaluation of Telecommunication Systems: A Case Study

SHI Dong-jie GU Qing FENG Guang-cheng CHEN Dao-xu

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract In order to assure a system's quality, it is very necessary to evaluate its reliability. This paper put forwards the process of reliability evaluation and compared the results of reliability evaluation of several telecommunication systems using many well-known methods such as fixed number truncated test, fixed time truncated test, and curve fitting and regression analysis. This paper also proposed some methods with improvements of the curving fitting method to get more exact results. The reliability evaluation was on several important systems in the telecommunication operation. To compare the results, we used R^2 -value as an indicator of the results of these methods which are used to evaluate the reliability of telecommunication systems.

Keywords Reliability, Fixed number truncated test, Fixed time truncated test, Curve fitting, R^2 -value

1 引言

可靠性是系统质量的固有特性之一,是系统质量的重要方面。准确评估一个系统的可靠性,可以帮助用户准确掌握系统质量的优劣程度,可以计算系统的 MTTF (Mean Time To Failure 平均失效时间),用于指导系统的检查和维修。电信运营中常用的一些系统设备通常分布于较广的地域、数量众多、布置密集。如何定制巡检和维修的时间长度对服务质量和维修工作量有着非常重大的影响。所以准确评估系统的可靠性,计算准确合理的 MTTF 用于指导巡检和维修有着显而易见的经济需求和现实意义。

近年来,如何准确有效地对系统可靠性进行评估有着广泛的研究,对于评估结果的准确性比较也有着不少重要的相关工作。文献[1]介绍了常用分布的可靠性评估方法和典型系统的可靠性评估方法。文献[2]介绍了软件系统常用分布的可靠性评估方法。文献[3]和文献[5]提出并介绍了对于复杂系统的可靠性评估方法。与此同时,对于安排可靠性试验验证需要考虑的检验问题也有着非常广泛而深入的研究。文献[7]重新制定了 IEC 标准,给出了许多优化的试验方案。文献[9]提出了一些对 MIL-HDBK-781 和 IEC61124(2002)草案中定时试验方案的改进。所有这些工作都卓有成效,本

文在上述基础上从实际数据出发,优化可靠性试验方案,采用多种系统可靠性评估方法对目标系统的可靠性进行评估并比较其评估结果的准确程度。

本文设计试验通过使用平均值方法、定数截尾试验、定时截尾试验、曲线拟合回归分析的方法对一些电信系统的可靠性进行评估。其中平均值方法是利用系统失效时间的平均值亦即 MTTF 来估计系统失效率 $\lambda(t)$,从而得到系统的可靠性函数对系统进行可靠性评估;定数截尾试验评估方法则是取一定数量的系统样本进行试验,事先指定一个失效数,待试验进行到出现指定数量的失效时停止试验,此时试验结束时间是一个随机变量,据此计算总试验时间来估计系统可靠性;定时截尾试验评估方法也是取一定数量的系统样本进行试验,事先指定一个试验停止时间,待试验进行到指定试验停止时间时停止试验,此时试验结束时出现的失效数是一个随机变量,据此计算总试验时间来估计系统可靠性;曲线拟合回归分析的方法则是得到系统失效分布图,使用 SPSS 工具对分布曲线进行拟合分析,然后得到系统的可靠性函数从而对系统进行可靠性评估。

本文的目的在于应用上述可靠性评估方法对目标系统进行可靠性评估并比较各种方法对于目标系统可靠性评估的准确程度;提出对于曲线拟合方法的一些改进使得可靠性评估

到稿日期:2008-01-30 本文受国家“863”项目(编号:2006AA01Z177),江苏省自然科学基金基础研究项目(编号:BK2006115)资助。

史栋杰 硕士研究生,研究方向为系统可靠性,E-mail: glorysdj@gmail.com;顾庆 副教授,研究方向为分布式计算与并行处理;陈道蕃 教授,博士生导师,研究方向为分布式计算与并行处理等。

结果更为准确;最后计算有效的 MTTF 用于定制行之有效的巡检、维修时间。本文如下组织:第 2 部分是对目标系统即电信常用系统的简介并详细介绍本次试验的过程;第 3 部分介绍了各种常用的可靠性评估方法,有平均值方法、定数截尾试验、定时截尾试验、曲线拟合、改进曲线拟合的方法;第 4 部分介绍 R^2 检验的方法用来比较各种可靠性评估方法的准确程度;第 5 部分是使用各种可靠性评估方法的用例分析以及试验所得结论及一些有用的量值计算;最后是对本文的小结。

2 电信系统可靠性评估试验过程

本文收集了电信运营中 4 种重要系统的失效记录。此 4 种系统分别为 P, W, S 和 SS。4 种系统中既有较为简单的构件系统也有复杂系统。由于这些系统主要是电子和电力系统,其寿命分布具有无记忆性,即系统在任何时间点失效的概率都是常量,也即 $\lambda(t) = \lambda$ 是一个常量,系统寿命服从指数分布。

本次试验的流程如图 1 所示:收集各电信系统海量的原始失效数据;数据预处理,生成可用试验数据段并展示系统失效分布图;应用各种可靠性评估方法对目标系统进行可靠性评估;应用 R^2 检验来比较各种可靠性评估方法对于目标系统可靠性评估的准确程度并选择最佳可靠性评估方法计算目标系统的 MTTF,定制巡检周期时间用于指导实践。

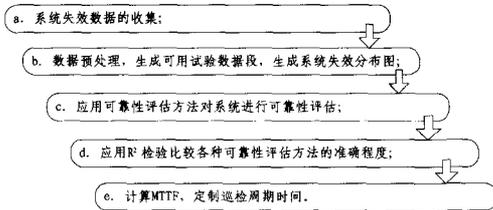


图 1 试验流程图

a. 系统失效数据的收集:本次试验所有数据均来自于系统投入运行中所收集到的数据,来源于某地区所有系统实际运行地点。数据收集了各系统实际运行于 5 个月平常季节内的失效记录。其中系统 S 和系统 SS 的数据记录与其主要设备具体型号有关,本文取其具有代表性的型号进行试验研究。

b. 数据预处理,生成可用试验数据段,生成系统失效分布图:所有数据需经过以下过程的预处理:由于电信系统设备的数据收集是失效驱动的,即当系统出现失效时才有数据的记录,因此我们要确定每次失效的正常运行起始时间,图 2 展示了这个确定过程。

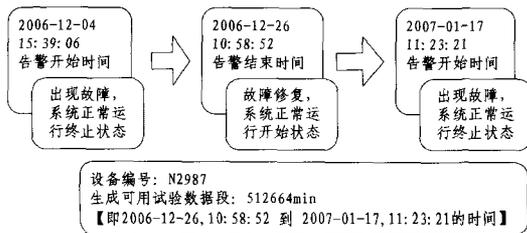


图 2 生成可用试验时间片

数据初始格式如下:系统编号、告警开始时间、告警结束时间。将之转化为正常运行的起止时间的关键在于如何确定给定正常运行开始时间对应的结束时间。可用试验时间片段采用如下格式:编号、正常运行开始时间点、出现故障(正常运行终止)时间点。如果在研究期限内没有终止时间点的数据

段,也被视为可用试验时间段数据。得到各系统可用试验时间片段后,可以得到各系统失效分布图,如图 3 所示。

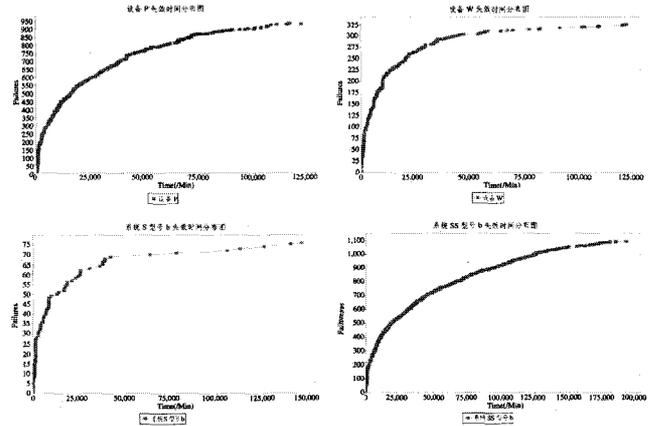


图 3 各系统的失效分布

c. 应用可靠性评估方法对系统进行可靠性评估:试验中使用平均值方法、定数截尾、定时截尾、曲线拟合回归分析及其改进的可靠性评估方法对 4 个目标系统进行可靠性评估,得到各目标系统的可靠性函数,从而可以计算系统在不同时刻的可靠性、系统的平均失效时间等其他可靠性指标。本文第 3 部分将详细介绍各种常用的可靠性评估方法。

d. 应用 R^2 检验比较各种可靠性评估方法的准确程度:在使用各种可靠性评估方法对目标系统进行可靠性评估得到其可靠性函数后需要进一步检验各结果的准确程度。本文使用 R^2 检验的方法检验各可靠性评估方法所得结果的准确程度。 R^2 检验的方法将在本文第 4 部分进行介绍。

e. 计算 MTTF,定制巡检周期时间:根据目标系统可靠性函数,可以计算 MTTF,定制行之有效的巡检周期。也可以根据服务质量对系统可靠性有着不同的最低要求时,计算不同平均最低可靠性时间用来定制巡检周期。根据实际需要灵活运用,可以保证电信系统的服务质量,同时减少巡检维修工作量。

本文涉及试验的具体步骤大致如此,在下文案例分析中也会有对试验的具体细节的详细介绍。

3 可靠性评估方法

3.1 平均值方法

由于电信系统的失效分布属于指数分布,其失效率 $\lambda(t)$ 为常数 λ ,又 $\lambda = \frac{1}{MTTF}$ 。我们使用平均值的方法来计算 MTTF。取各系统前 3 个月的失效数据,根据可用试验时间片段,求其平均值得到 MTTF,然后计算 λ 。指数分布的失效密度函数为 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$,分布函数为 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$,可靠性函数为 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 。

3.2 定数截尾试验方法

对于每种电信系统分别取 n 个相互独立的样本进行试验,事先指定一个失效数 $r(0 \leq r \leq n)$,当试验进行到有 r 个样本失效时结束试验。此时,结束时间 t 是随机变量。定数截尾试验分为有替换和无替换两种。无替换定数截尾试验即在试验过程中,试验系统出现失效后不用正常系统替换,继续进行试验。随着试验进行,失效系统逐渐增多,正常系统逐渐减少。当 $r=n$ 时称为完全样本试验。有替换定数截尾试验即

在试验过程中,系统出现失效后立即使用正常系统替代,继续进行试验。整个试验过程中正常运行系统数目保持不变。

对于失效服从指数分布的系统进行定数截尾试验对数据进行统计推断时,需要用到下述定理:指数分布失效率为常量,失效密度函数为 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$,失效分布函数为 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$,试验样本数目为 n ,前 z 个失效时间观察值为 $t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq \dots \leq t_z (z \leq n)$ 。对于无替换定数截尾试验,总试验时间为 $\tau = \sum_{i=1}^z t_i + (n-z)t_z$,则 $2\lambda\tau$ 服从自由度为 $2z$ 的 χ^2 分布,即 $2\lambda\tau \sim \chi_{2z}^2$ 。对于有替换定数截尾试验,总试验时间为 $\tau = nt_z$,则 $2\lambda\tau$ 服从自由度为 $2z$ 的 χ^2 分布,即 $2\lambda\tau \sim \chi_{2z}^2$ 。

本文采用无替换定数截尾试验的方法,采用经典方法对各系统可靠性进行评估,对于给定的置信度 γ ,设失效率上限为 $\lambda_{U,C}$,则有

$$\gamma = P(\lambda \leq \lambda_{U,C}) = P(2\lambda\tau \leq 2\tau\lambda_{U,C})$$

由于 $2\lambda\tau \sim \chi_{2z}^2$,则有

$$\lambda_{U,C} = \frac{\chi_{2z,\gamma}^2}{2\tau}$$

其中 $\chi_{2z,\gamma}^2$ 为自由度为 $2z$ 的 χ^2 分布函数给定置信度 γ 的下侧分位数。

系统的可靠性函数为: $R(t) = e^{-\lambda_{U,C}t}$ 。

3.3 定时截尾试验方法

定时截尾试验与定数截尾试验比较类似,对于每种电信系统分别取 n 个相互独立的样本进行试验,事先指定一个试验终止时间 t ,当试验进行到该指定时刻就停止试验。此时,试验结束时出现失效的系统数目是随机变量。定时截尾试验也分为有替换和无替换两种。无替换定时截尾试验即在试验过程中,试验系统出现失效后不用正常系统替换,继续进行试验。随着试验进行,失效系统逐渐增多,正常系统逐渐减少。有替换定时截尾试验即在试验过程中,系统出现失效后立即使用正常系统替代,继续进行试验。整个试验过程中正常运行系统数目保持不变。

对于失效服从指数分布的系统进行无替换定时截尾试验时,其失效率为常量 λ ,失效分布函数为 $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$,取 n 个样本进行试验,截尾时间为 t ,截尾时出现失效数为 z ,对于无替换定时截尾,总试验时间为 $\tau = \sum_{i=1}^z t_i + (n-z)t$ 。对于寿命服从指数分布的系统,进行无替换定时截尾试验时,经典方法的 Cox 方法认为 $2\lambda\tau$ 近似服从自由度为 $2z+1$ 的 χ^2 分布,即 $2\lambda\tau \sim \chi_{2z+1}^2$ 。所以给定置信度 γ ,则失效率上限为

$$\lambda_{U,C} = \chi_{2z+1,\gamma}^2 / (2\tau)$$

其中 $\chi_{2z+1,\gamma}^2$ 为自由度为 $2z+1$ 的 χ^2 分布函数给定置信度 γ 的下侧分位数。

系统的可靠性函数为: $R(t) = e^{-\lambda_{U,C}t}$ 。

3.4 指数分布曲线拟合方法

由于 P, W, S, SS 系统是电子和电力系统,其寿命分布具有无记忆性,即系统在任何时间点失效的概率都是常量,系统寿命服从指数分布。可以使用曲线拟合回归分析的方法对系统的寿命分布进行拟合分析,直接得到其可靠性函数。

本文选取了分布在前 3 个月中的所有失效数据进行曲线拟合及回归分析。利用 $R(t) = 1 - F(t)$ 的关系,先将失效分布图转换为可靠性随时间变化的函数图,然后使用 SPSS 软件对其进行拟合分析,直接得到可靠性函数的表达式。

以下是电信系统 P, W, S 和 SS 的可靠性随时间变化的

函数图,如图 4 所示。

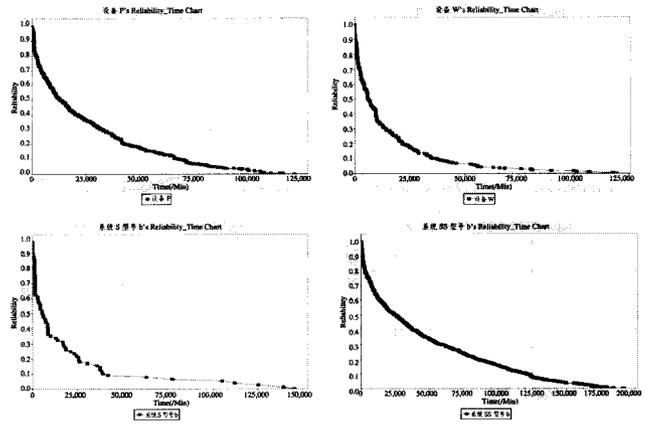


图 4 各系统的可靠性函数图

3.5 改进的指数分布曲线拟合方法

在曲线拟合过程中发现拟合精度误差有些大。直接将可靠性函数认为是 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 形式是导致误差的主要原因。于是对可靠性函数进行微调,本文分别提出分别使用 $R(t) = a * e^{-\lambda t}$ 形式和 $R(t) = b + a * e^{-\lambda t}$ 的形式对可靠性函数进行拟合分析,可以得到更为准确的结果。

3.6 二参数威布尔分布曲线拟合方法

另外又考虑失效服从威布尔分布的情况,本文使用两参数威布尔分布的可靠性函数 $R(t) = e^{-(\frac{t}{\eta})^m}$ 对各系统的可靠性函数图进行拟合分析,可以得到更为准确的结果。

4 R^2 检验

得到了上述几种方法的评估方法的结果后,下文要做的是对各种评估方法的比较。 R^2 检验是一种常用的方法。由于平均值方法、定数截尾试验、定时截尾试验和曲线拟合的方法所得结果可靠性函数均为 $R(t) = e^{-\lambda t}$,容易将其转化为线性关系的形式,即 $\ln R(t) = -\lambda t$ 。而曲线拟合的两个改进形式 $R(t) = a * e^{-\lambda t}$ 形式和 $R(t) = b + a * e^{-\lambda t}$ 也可将其转化为线性关系形式,分别为 $\ln(R(t)/a) = -\lambda t$ 和 $\ln((R(t)-b)/a) = -\lambda t$ 。对于线性回归精度的估计,可以通过计算 R^2 来得到。

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

上式中左边为 Y 的校正平方和,简称为校正 SS。 $\hat{Y}_i - \bar{Y}$ 为第 i 次观测的预报值与均值的偏差,其平方和为回归平方和,简称为回归 SS。 $Y_i - \hat{Y}_i$ 是第 i 次观测值与预报值的偏差(残差),其平方和成为残差平方和,简称为残差 SS。这样可以表示为:

$$\text{校正平方和} = \text{回归平方和} + \text{残差平方和}$$

这就将 Y 关于其均值的方差(即校正平方和)分解为两部分,前一部分是由回归线引起的,后一部分是由于实际观测值没有落在回归线上引起的(否则残差平方和为 0)。由此找到了一种判别回归线拟合程度好坏的方法:看校正 SS 中,包含了多少回归 SS 和残差 SS。如果回归 SS 远比残差 SS 大,也就是 $R^2 = (\text{回归 SS}) / (\text{校正 SS})$ 接近于 1,则可感到满意。同时 R^2 的值越大,则回归估计的精度越大。对于各种可靠性评定的方法,其 R^2 的值越大,可靠性函数就越准确,对于电信系统可靠性评定就越接近实际。

方差来源	自由度(df)	平方和(SS)	均方(MS)
回归	1	$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	
残差	n-2	$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$S^2 = \frac{\text{残差 SS}}{n-2}$
校正	n-1	$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2$	

本文使用各系统全部时间段后 2 个月的数据作为实际观测值,将各评估方法的结果可靠性函数根据时间计算出来的结果作为预报值进行 R^2 检验,从而比较各评估方法的准确度。对于二参数威布尔分布可靠性评估的方法,本文直接使用 SPSS 根据全部时间段后 2 个月的数据计算其 R^2 。

5 案例分析

下面将分别使用上述可靠性评估方法对 4 种电信系统进行可靠性评估。

5.1 平均值方法

取每个系统前 3 个月的失效数据来计算失效时间的平均值,亦即平均失效时间 MTTF,从而得到可靠性函数。试验计算结果如下表平均值方法可靠性评估结果表所示。

取每个系统后两个月的失效数据来验证平均值方法评估结果的可靠性,进行方差分析,计算 R^2 如下表平均值方法的 ANOVA 表所示。

平均值方法可靠性评估结果表

	MTTF(min)	λ	R(t)
P	25081.84286	3.98695E-5	$e^{-3.98695E-5 * t}$
W	12973.98462	7.70773E-5	$e^{-7.70773E-5 * t}$
S	18608.08889	5.37401E-5	$e^{-5.37401E-5 * t}$
SS	45853.10350	2.18088E-5	$e^{-2.18088E-5 * t}$

平均值方法的 ANOVA 表

	R(t)	期望 Y	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R^2
P	$e^{-3.98695E-5 * t}$	0.50560	44.65250	2.52406	47.17656	0.94650
W	$e^{-7.70773E-5 * t}$	0.49627	15.83020	1.10664	16.93684	0.93466
S	$e^{-5.37401E-5 * t}$	0.43821	3.74254	0.98076	4.72330	0.79236
SS	$e^{-2.18088E-5 * t}$	0.51793	51.33940	3.84984	55.18924	0.93024

5.2 定数截尾试验

对 P,W,S,SS 各系统前 3 个月失效数据中各取 $n=50$ 个样本进行试验,事先指定失效数 $z=13$,置信度 $\gamma=0.95$,查表得 $\chi_{z,\gamma}^2=38.885$,到试验出现 13 个系统失效时,计算总试验时间 $\tau = \sum_{i=1}^z t_i + (n-z)t_z$,根据 $\lambda_{U,C} = \chi_{z,\gamma}^2 / (2\tau)$,计算失效率 $\lambda_{U,C}$,则 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 亦可计算出来。以下定数截尾试验方法可靠性评估结果表是对系统 P,W,S,SS 使用无替换定数截尾试验进行可靠性评估的结果。

以下定数截尾试验方法的 ANOVA 表是利用各系统后两个月的失效数据进行方差分析并计算 R^2 的结果。

定数截尾试验方法可靠性评估结果表

n	z	$\chi_{z,\gamma}^2$	τ (min)	$\lambda_{U,C} = \chi_{z,\gamma}^2 / (2\tau)$	R(t) = $e^{-\lambda t}$
P	50	13	223508.0	8.69879E-5	$e^{-8.69879E-5 * t}$
W	50	13	151778.0	1.28098E-4	$e^{-1.28098E-4 * t}$
S	50	13	114752.0	1.69431E-4	$e^{-1.69431E-4 * t}$
SS	50	13	553891.0	3.51017E-5	$e^{-3.51017E-5 * t}$

定数截尾试验方法的 ANOVA 表

	R(t)	期望 Y	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R^2
P	$e^{-8.69879E-5 * t}$	0.50560	53.16380	7.64291	60.80671	0.87431
W	$e^{-1.28098E-4 * t}$	0.49627	16.16080	0.81120	16.97200	0.95220
S	$e^{-1.69431E-4 * t}$	0.43821	3.57546	0.61114	4.18660	0.85402
SS	$e^{-3.51017E-5 * t}$	0.51793	57.65229	4.37468	62.02697	0.92947

5.3 定时截尾试验

对 P,W,S,SS 各系统的前 3 个月失效数据各取 $n=50$ 个样本进行试验,事先指定试验时间为 $t=5000$ min,取置信度 $\gamma=0.95$,查表得各 $\chi_{z+1,\gamma}^2$,到试验进行到时间 t 时终止试验,统计出现失效的系统个数,计算总试验时间 $\tau = \sum_{i=1}^z t_i + (n-z)t$,根据公式 $\lambda_{U,C} = \chi_{z+1,\gamma}^2 / (2\tau)$,计算失效率 $\lambda_{U,C}$,则 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 亦可计算出来。以下定时截尾试验方法可靠性评估结果表是对系统 P,W,S,SS 使用无替换定时截尾试验进行可靠性评估的结果。

以下定时截尾试验方法的 ANOVA 表是利用各系统后两个月的失效数据进行方差分析并计算 R^2 的结果。

定时截尾试验方法可靠性评估结果表

n	t(min)	z	$\chi_{z+1,\gamma}^2$	τ (min)	$\lambda_{U,C} = \chi_{z+1,\gamma}^2 / (2\tau)$	R(t) = $e^{-\lambda t}$
P	50	5000	12	204812.0	9.19184E-5	$e^{-9.19184E-5 * t}$
W	50	5000	15	205331.0	1.09543E-4	$e^{-1.09543E-4 * t}$
S	50	5000	18	190818.0	1.36759E-4	$e^{-1.36759E-4 * t}$
SS	50	5000	6	232560.0	4.80779E-5	$e^{-4.80779E-5 * t}$

定时截尾试验方法的 ANOVA 表

	R(t)	期望 Y	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R^2
P	$e^{-9.19184E-5 * t}$	0.50560	53.77586	8.57961	62.35547	0.86241
W	$e^{-1.09543E-4 * t}$	0.49627	15.93968	0.59365	16.53332	0.96409
S	$e^{-1.36759E-4 * t}$	0.43821	3.48152	0.41396	3.89549	0.89373
SS	$e^{-4.80779E-5 * t}$	0.51793	62.20579	8.75568	70.96147	0.87661

5.4 指数分布曲线拟合方法

对每个系统取前 3 个月的失效数据转换成可靠性函数图,以指数分布的可靠性函数形如 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 对目标曲线进行曲线拟合回归分析直接得到可靠性函数如下表曲线拟合方法可靠性评估结果表所示。同样取各系统后两个月的失效数据进行方差分析并计算 R^2 ,结果如下表曲线拟合方法的 ANOVA 表所示。

曲线拟合方法可靠性评估结果表

	R(t) = $e^{-\lambda t}$	R^2
P	$e^{-4.6212E-5 * t}$	0.93238
W	$e^{-9.9106E-5 * t}$	0.93711
S	$e^{-1.19652E-4 * t}$	0.88634
SS	$e^{-2.5352E-5 * t}$	0.92522

曲线拟合方法的 ANOVA 表

	R(t)	期望 Y	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R^2
P	$e^{-4.6212E-5 * t}$	0.50560	46.11248	2.12893	48.24140	0.95587
W	$e^{-9.9106E-5 * t}$	0.49627	15.85566	0.60043	16.45609	0.96351
S	$e^{-1.19652E-4 * t}$	0.43821	3.44682	0.34809	3.79491	0.90828
SS	$e^{-2.5352E-5 * t}$	0.51793	53.18953	3.12912	56.31865	0.94444

5.5 改进的指数分布曲线拟合方法

对上述用来曲线拟合的可靠性函数形式进行微调,使用 $R(t) = a * e^{-\lambda t}$ 形式和 $R(t) = b + a * e^{-\lambda t}$ 的形式对可靠性函数进行拟合分析,评估结果分别如下表曲线拟合方法改进一可靠性评估结果表、曲线拟合方法改进二可靠性评估结果表所示。方差分析分别如下表曲线拟合方法改进一的 ANOVA 表、曲线拟合方法改进二的 ANOVA 表所示。

改进的指数分布曲线拟合方法一可靠性评估结果表

	$R(t) = b + a * e^{-\lambda t}$	R^2
P	$0.87794 * e^{-3.6564E-5 * t}$	0.97722
W	$0.88527 * e^{-7.9425E-5 * t}$	0.97168
S	$0.85162 * e^{-7.4997E-5 * t}$	0.94894
SS	$0.87124 * e^{-2.0070E-5 * t}$	0.97720

改进的指数分布曲线拟合方法一的 ANOVA 表

	R(t)	期望 \bar{Y}	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R2
P	$0.87794 * e^{-3.6564E-5 * t}$	0.50560	32.61691	0.71505	33.33196	0.97855
W	$0.88527 * e^{-7.9425E-5 * t}$	0.49627	12.04087	0.22566	12.26654	0.98160
S	$0.85162 * e^{-7.4997E-5 * t}$	0.43821	2.41050	0.14233	2.55282	0.94425
SS	$0.87124 * e^{-2.0070E-5 * t}$	0.51793	36.23434	0.84533	37.07966	0.97720

改进的指数分布曲线拟合方法二可靠性评估结果表

	$R(t) = b + a * e^{-\lambda t}$	R^2
P	$0.06953 + 0.82505 * e^{-4.5090E-5 * t}$	0.98136
W	$0.10011 + 0.801043 * e^{-1.08001E-4 * t}$	0.98752
S	$0.10761 + 0.77849 * e^{-1.16494E-4 * t}$	0.96539
SS	$0.06091 + 0.82324 * e^{-2.4125E-5 * t}$	0.98001

改进的指数分布曲线拟合方法二的 ANOVA 表

	R(t)	期望 \bar{Y}	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R2
P	$0.06953 + 0.82505 * e^{-4.5090E-5 * t}$	0.50560	31.07490	0.60256	31.67746	0.98098
W	$0.10011 + 0.81043 * e^{-1.08001E-4 * t}$	0.49627	10.46742	0.17776	10.64517	0.98330
S	$0.10761 + 0.77849 * e^{-1.16494E-4 * t}$	0.43821	2.08187	0.10050	2.18237	0.95395
SS	$0.06091 + 0.82324 * e^{-2.4125E-5 * t}$	0.51793	35.10065	0.71304	35.81369	0.98009

5.6 二参数威布尔分布曲线拟合方法

使用二参数威布尔分布的可靠性函数 $R(t) = e^{-(\frac{t}{\eta})^m}$ 对各系统的可靠性函数图进行拟合分析,评估结果如下表曲线拟合方法改进三二参数威布尔分布可靠性评估结果表所示。方差分析如下表曲线拟合方法改进三二参数威布尔分布的 ANOVA 表所示。

二参数威布尔分布曲线拟合方法可靠性评估结果表

	$R(t) = e^{-(\frac{t}{\eta})^m}$	R^2
P	$e^{-(\frac{t}{22628.3971})^{0.67184}}$	0.99432
W	$e^{-(\frac{t}{10824.7593})^{0.66122}}$	0.99816
S	$e^{-(\frac{t}{10805.3389})^{0.58355}}$	0.98439
SS	$e^{-(\frac{t}{39814.7805})^{0.64311}}$	0.99276

二参数威布尔分布曲线拟合方法的 ANOVA 表

	R(t)	期望 \bar{Y}	回归 SS	残差 SS	校正 SS	R2
P	$e^{-(\frac{t}{22628.3971})^{0.67184}}$	0.50560	31.20568	0.18387	31.38955	0.99414
W	$e^{-(\frac{t}{10824.7593})^{0.66122}}$	0.49627	11.27500	0.01757	11.29257	0.99844
S	$e^{-(\frac{t}{10805.3389})^{0.58355}}$	0.43821	2.09926	0.03039	2.12965	0.98573
SS	$e^{-(\frac{t}{39814.7805})^{0.64331}}$	0.51793	35.14207	0.24883	35.39089	0.99297

5.7 试验结论及一些有用的量值计算

将上述各种可靠性评估方法的 R^2 汇总到下表 R^2 结果

 R^2 结果汇总表

构件/系统	1. 平均值方法	2. 定数截尾试验	3. 定时截尾试验	4. 指数分布曲线拟合	5. 改进指数分布曲线拟合一	6. 改进指数分布曲线拟合二	7. 二参数威布尔分布曲线拟合方法	结论
P	0.94650	0.87431	0.86241	0.95587	0.97855	0.98098	0.99414	$7 > 6 > 5 > 4 > 1 > 2 > 3$
W	0.93466	0.95220	0.96409	0.96351	0.98160	0.98330	0.99816	$7 > 6 > 5 > 3 > 4 > 2 > 1$
S	0.79236	0.85402	0.89373	0.90828	0.94425	0.95395	0.98439	$7 > 6 > 5 > 4 > 3 > 2 > 1$

汇总表中。根据 R^2 结果汇总表可以看出方法七、六、五对可靠性函数图进行曲线拟合回归分析的可靠性评定方法要更准确一点。尤其在电信系统投入运营之后,并不符合其在实验室进行可靠性试验的运行环境,户外的很多环境因素对其可靠性产生影响,例如雨雪雷电阴晴风霜等不同的气候因素、安装地点受到的保护程度的不同、周围其他电子设备的干扰影响等都影响这些设备的可靠性。合理运用收集到的各设备的失效数据记录,使用更为合理有效的方法对于评估系统可靠性有着非常重要的帮助。

对于电信系统进行可靠性评估的一个主要目的即在于计算其 MTTF,定制各设备巡检的时间周期,用于指导巡检工作,合理安排巡检和维修工作的开展。有两种制定巡检周期的方式,第一种即采用 MTTF 作为巡检时间周期,大体上目的系统的可靠性降为 0 前巡查到系统进行维护,这种方式对于可靠性要求不高的系统可以采用,但是系统的服务质量会有很大的下降。改进的方式是提出该系统的目标可靠性,大体上在该系统可靠性下降目标可靠性之前能够巡查到系统并进行维护,如此对于系统服务的质量有着很大的提高。本次试验根据目标系统的具体可靠性下限要求计算了巡检时间的定制值,根据接下来半年实践中得到的巡检维修效果反馈良好。

SS	0.93024	0.92947	0.87661	0.94444	0.97720	0.98009	0.99276	7>6>5>4>1>2>3
结论	7 最佳,6,5 很好							
注	4. 曲线拟合 $R(t) = \exp(-\lambda t)$ 5. 改进指数分布曲线拟合一 $R(t) = a * \exp(-\lambda t)$ 6. 改进指数分布曲线拟合二 $R(t) = b + a * \exp(-\lambda t)$ 7. 二参数威布尔分布曲线拟合方法 $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\gamma}\right)^m}$							

结束语 系统可靠性是系统质量的重要指标,准确评估系统的可靠性对于系统质量的评定有着非常重要的作用。根据系统可靠性计算系统的平均失效时间 MTTF,从而定制系统巡检维修的周期对于现实系统投入运行后的巡检维修工作有重要的指导意义。本文从收集大量实际数据出发,优化可靠性试验方案,采用多种系统可靠性评估方法对目标系统可靠性进行评估并比较其评估结果的准确程度。最后选择根据实际最为准确的系统可靠性评估方法,对目标系统进行可靠性指标计算,根据现实需要定制目标系统的巡检维修周期用于指导现实的实践工作,收到了良好效果。

参 考 文 献

[1] 金星,洪延姬. 系统可靠性评定方法. 国防工业出版社,2005
 [2] Pham H. Software Reliability. Springer,2000
 [3] 黄锡滋. 软件可靠性、安全性与质量保证. 电子工业出版社,2002
 [4] 王学仁,等. 应用回归分析. 重庆大学出版社,1989
 [5] Li Zehui,Zhao Peng. Reliability Analysis on the δ -Shock Model of Complex Systems. Reliability, IEEE Transactions on, 2007, 56:340-348
 [6] Sarhan A M, Guess F M, Usher J S. Estimators for Reliability Measures in Geometric System Life Test Data Distribution

Model Using Dependent Masked. Reliability, IEEE Transactions on, 2007, 56:312-320

[7] Reliability testing - Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity. IEC61124-International Electro-technical Commission, 2006
 [8] Chen Jiading, Wei Xuelian. Improvement for the Sequential Scheme in MIL-HDBK-781 and IEC61124 (2002) Draft // The Joint Meeting of the Chinese Society of Probability and Statistics (CSPS) and the Institute of Mathematical Statistics (IMS). Beijing, 2005
 [9] 隗雪莲,陈家鼎. 对 MIL-HDBK-781 和 IEC61124(2002)草案中定时试验方案的改进. 应用概率统计, 2004(04):414
 [10] Gokhale S S, Lyu M R, Trivedi K S. Reliability Simulation of Component-Based Software Systems. Software Reliability Engineering, Nov. 1998:192-201
 [11] Stringfellow C, Andrews A A. An Empirical Method for Selecting Software Reliability Growth Models. Empirical Software Engineering, 2002, 7:319-343

(上接第 241 页)

内容的检索,基于多信息融合的检索等方法。而对于音乐这种特殊的媒介,情感是其本质的内涵,人们获取音乐的目的不只是为了听觉上的满足,更是情感上的交流。本文提出的基于情感音乐模板的音乐检索方法,正是在传统音频检索的基础上注入了情感因素,使查询更加贴近人性化,更加接近情感上的沟通,从而实现人机间情感的和谐交互。

参 考 文 献

[1] 王次昭. 音乐美学[M]. 北京:高等教育出版社,1994
 [2] 范宝元,韩秀苓. 音频工程基础[M]. 北京工业大学出版社,2002
 [3] 李国辉,李恒峰. 基于内容的音频检索概念和方法[J]. 小型微型计算机系统, 2000;1000-1220,11-1173-05
 [4] Picard R W. Affective computing[M]. London: MIT Press, 1997
 [5] 胡晓峰,李国辉. 多媒体系统[M]. 北京:人民邮电出版社,1997
 [6] 焦玉英,周华敏. 基于音频内容的交互渐进式音乐检索系统的设计[J]. 情报科学, 2004; 1007-7634, 12-1458-03

[7] 程凯,李应,黄樟钦. 音频数据的一种空间特征模型[J]. 计算机应用, 2004; 1001-9081, 01-0143-03
 [8] 赵雪雁,吴飞,庄越挺,等. 基于模糊聚类表征的音频例子检索及相关反馈[J]. 浙江大学学报, 2003; 10082973X, 0320264205
 [9] Bertini M, Bimbo A D, Pala P. Content - based indexing and retrieval of TV news. ELSEVIER Journal, 2001, 22:503-516
 [10] Li Dongge, Sethi I K, et al. Classification of general audio data for content-based retrieval[J]. ELSEVIER Journal, 2001, 22: 533-544
 [11] 陶建华,谭铁牛. 让计算机更善解人意[J]. 计算机世界, 2005(1)
 [12] 傅小兰. 人机交互中的情感计算[J]. 计算机世界, 2004(5)
 [13] Thayer R E. The biopsychology of mood and arousal[M]. Oxford University Press, 1989
 [14] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 2000
 [15] 李恒峰,李国辉. 基于内容的音频检索与分类[J]. 计算机工程与应用, 2000(7)