

基于维修周期预测的网络摄像机退化分析^①

张运楚^{1,2}, 赵成¹, 杨红娟^{1,2}, 韩怀宝¹, 杨崇涛¹

¹(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

²(山东省智能建筑技术重点实验室, 济南 250101)

摘要: 网络摄像机作为安防系统中的重要组成部分, 其可靠性直接影响着安防系统的性能。现在的研究得到的都是安防设备的整体稳定性或者单一产品的稳定性, 无法在保证个体差异性的基础上对整体进行效能评估; 鉴于此, 提出了基于 Winner 过程先验数据的可靠性分析法。首先, 建立基于 Winner 过程的设备退化模型并利用 PPS 抽样方法对其中的设备数据样本获取先验数据, 并确定其先验分布; 其次, 对其设备维修周期的置信区间进行计算, 并对退化样本数据建立后验估计, 预测安防设备的维修周期。最后通过一个实例表明了该方法的研究意义和使用价值。

关键词: 退化建模; 可靠性; 维纳过程; 维修周期

Network Camera Degradation Modeling Based on Maintenance Cycle Forecast

ZHANG Yun-Chu^{1,2}, ZHAO Cheng¹, YANG Hong-Juan^{1,2}, HAN Huai-Bao¹, YANG Chong-Tao¹

¹(School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

²(Shandong Provincial Key Laboratory of Intelligent Buildings Technology, Jinan 250101, China)

Abstract: The network camera is an important part of security system, and its reliability directly affects the performance of the security system. Now the research can obtain the overall stability of the security equipment or the stability of a single product, which may not guarantee the overall performance evaluation on the basis of individual differences; In view of this, this paper puts forward the reliability analysis method based on Winner process data. First of all, it sets up the equipment degradation model based on the Winner process and obtains prior data from equipment data samples using PPS sampling method, and determines its prior distribution; Secondly, it calculates confidence interval of maintenance cycle of the equipment, and builds a posteriori estimation for sample degradation data, and forecast maintenance cycle of security equipment. Finally, an example shows the significance of this research and the value of this method.

Key words: degradation modeling; reliability; Wiener process; maintenance cycle

1 引言

视频监控系统作为整个安防系统中的一个子系统, 担负着对现场的实时监控、值班人员对突发事件的紧急处置等重要责任。该系统的可靠性直接影响到整个安防系统的人防、物防和技防能否配合得当, 并影响到整个安防系统的稳定性; 视频监控系统同时也是门禁系统和防盗报警系统的结果验证和复核。所以, 在对安防系统的可靠性评估中对视频监控设备的可靠性评估是十分必要的^[1]。

由于现今科技的发展, 人们对电子设备的可靠性和寿命的要求达到了一个前所未有的高度, 利用单纯的试验方法获取其失效时间样本数据将会花费过多的人力和物力, 因此基于试验方法的失效时间剩余寿命预测^[2]方法陷入困境, 而基于对设备效能退化数据进行建模的方法使得所遇到的问题迎刃而解。对于具有高可靠性的电子设备来说, 改良的方法不需要对该类产品的所有失效过程进行全程记录, 因此降低了许多的实验成本。

① 收稿时间:2015-11-08;收到修改稿时间:2015-12-16 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005235]

现有电子产品剩余寿命预测方法主要有两类:基于随机过程理论进行效能退化的建模方法和基于试验方法的效能退化的建模方法. 基于随机过程理论进行效能退化模型建模的方法主要有粒子滤波法^[3,4]、多种卡尔曼滤波法^[5]、马尔可夫链滤波法^[6]等. 基于试验方法的效能退化的建模方法主要有应力加速法^[7]和恒定应力法^[8]. 目前在利用随机过程^[9,10]对网络摄像机的退化建模中常利用维纳过程^[11-13]进行退化建模, 利用同类其他产品的退化或寿命数据作为先验信息, 但网络摄像机生产厂家对本公司产品的各项数据指标都严格保密, 导致工程实践中此类先验信息获取困难且利用此类先验信息会在一定程度上降低预测结果的个体差异性. 本文主要对建筑物周边以及内部的摄像头为样本进行的建模分析, 所以单一摄像机无法承担起对整栋大楼周边以及内部的监控任务, 所以对建筑物网络摄像机的退化建模是对总体样本空间的子样本进行退化建模, 此方法保证了在一定程度上个体差异性与总体性能的权重平衡, 从而保证了实验结果的科学客观性.

2 问题描述

网络摄像机的全生命周期可分为三个阶段:老化测试阶段、正常使用阶段和性能退化阶段. 本文主要对设备的退化阶段进行建模.

老化测试阶段是对网络摄像机的性能进行 12~24 小时的加速老化试验, 以期在初期对可能出现的小问题做出检测并修复. 摄像机老化性能测试可以分很多种, 主要方法有紫外老化、氙灯老化、臭氧老化、热空气老化等, 为了检测老化后的摄像机是否还能够正常还原图像, 还要经过老化后的色差评级、光泽变化、性能测试等. 现今部分出口的摄像产品为了迎合欧美视频监控的标准, 还包括盐雾实验、水雾实验等.

性能退化阶段根据《视频显示系统工程技术规范》^[14]对网络摄像机的性能退化过程分为了五级, 具体如下表所示.

表 1 五级损伤制评分分级

图像质量损伤的主观评价	评分等级
图像上不察觉有损伤或干扰存在	五
图像上稍有可察觉的损伤或干扰, 但并不令人讨厌	四
图像上有明显的损伤或干扰, 令人感到讨厌	三
图像上损伤或干扰严重, 令人相当讨厌	二
图像上损伤或干扰及其严重, 不能观看	一

五级网络摄像机损伤制评分方法的评价项可包括如下表所示.

表 2 主观评价项目

项目	损伤的主观评价现象
随机信噪比	噪波, 即“雪花干扰”
单频干扰	图像中纵、斜、人字形或波浪状的条文, 即“网文”
电源干扰	图像中上、下移动的黑白间置的水平横条, 即“黑白隧道”
脉冲干扰	图像中不规则的闪烁, 黑白麻点或“跳动”
色/亮度时延差	色、亮信息没有对齐, 即“色彩魔影”

对于等级一至等级五的退化过程只能用人眼主观的去评价, 无法用科学客观的方法确定等级. 所以本文对该类摄像机所拍摄视频的某一帧图像进行处理, 对质量退化后的图像与未退化前的图像进行峰值信噪比计算, 并以此为标准划分图像的退化等级. 下面对以下五种情况做了峰值信噪比(PSNR)计算, 得出这五幅退化后图像的 $PSNR \in [32.351 \ 48.532]dB$, 由于现今网络摄像机工程招投标的配置标准一般为 48dB, 则将此区间划分为五个子区间, 符合网络摄像机由正常工作到退化阶段的工程实际. 下面是不同等级的图像等级退化过程与原图的效果对比:

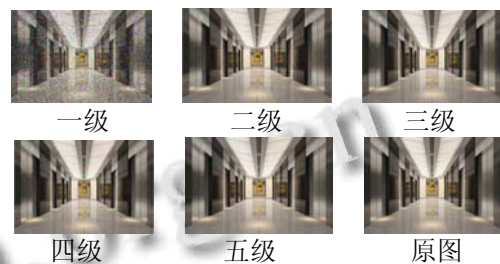


图 1 五级退化过程与原图效果对比

2.1 网络摄像机主要退化问题

摄像机的主要质量问题就是图像成像质量的下降, 图像成像质量下降有很多原因, 有图像信号传输不畅通导致的图像模糊, 有外界信号干扰引起的图像模糊横纹、有传输线路老化、摄像机电路板老化引起的图像不清晰等.

2.2 建模步骤

以下为退化建模的步骤流程. 首先, 建立基于 Winner 过程的设备退化模型并利用 PPS 抽样^[15]方法对其中的设备数据样本获取先验数据, 并确定其先验分布; 其次, 对其设备维修周期的置信区间进行计算, 并对退化样本数据建立后验估计, 预测安防设备的维

修周期.

3 维纳过程原理

3.1 维纳过程

电子设备的退化受多重因素的影响, 有环境因素、设备本身质量品质和其他一些人为因素的介入. 所以对于电子设备的退化过程可看作是一个符合正态分布模型的退化过程. 其模型如式(1):

$$D(t) = at + bW(t) \tag{1}$$

$D(t)$ 为设备退化模型的退化量, 其中 α 是漂移参数, β 是扩散参数, 对于初始退化量为 X_0 的模型来说, 其概率密度公式为:

$$f(x, x_0, t) = \frac{1}{b\sqrt{t}} f\left(\frac{x - x_0 - at}{b\sqrt{t}}\right) \tag{2}$$

该维纳过程的期望是 $E[D(t)] = \alpha t$, 方差为 $Var[D(t)] = \beta^2 t$; $W(t)$ 是符合标准正态分布的随机过程, 且满足 $W(t) \sim N(0, t)$, 其概率密度公式如下所示.

$$f_t(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} \exp\left(-\frac{w^2}{2t}\right) \tag{3}$$

由式(1)可知维纳过程有如下性质:

(1) $D(0)=0$. 其物理意义是在时间为零时该电子设备的退化量为零, 即所有样本在时间为零时为无损伤的集合样本.

(2) $\Delta D(t_{i+1})=D(t_i)-D(t_{i-1})$, $\Delta D(t_{i+1})$ 符合正态分布, 且 $\Delta D(t)$ 相互独立. 即样本的退化增量符合正态分布.

3.1.1 维纳过程参数

对于制造时间和不同制造环境的一类产品来说, 由于其产品规模基数大, 所以个体之间的漂移参数和扩散参数有着不同个体之间异, 由维纳过程的参数分布特性导致了 α 和 β 都服从正态分布, 所以 $\alpha \sim N(\mu_\alpha, \sigma_\alpha^2)$, $\beta \sim N(\mu_\beta, \sigma_\beta^2)$. α 和 β 的联合概率分布 $f(\alpha, \beta)$ 如式(4)所示.

$$f(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi\mu_\alpha\mu_\beta\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(\alpha-\mu_\alpha)^2}{\mu_\alpha^2} - 2\rho \frac{(\alpha-\mu_\alpha)(\beta-\mu_\beta)}{\mu_\alpha\mu_\beta} + \frac{(\beta-\mu_\beta)^2}{\mu_\beta^2} \right] \right\} \tag{4}$$

而对于特定的单个产品来说, 其 α 和 β 为一以知的特定值, 则其最长设备有效时间也为一固定值, 本文将不对该种情况进行研究讨论.

3.2 自助法抽样

由于使用环境的不同, 对设备效能的退化影响也是不一样的, 所以将同批次同型号的一类产品依据不同的使用环境分为不同种类. 利用 PPS 抽样法对样本

进行分类和抽样, 计算出每一类的权重值, 并进行有放回式的分类抽样. 其原理是以阶段性的不等概率换取最终的、总体的等概率.

在上述抽样方法得到的抽样样本的基础上, 对该样本进行自助法抽样, 其原理是假设所抽取的样本可以代表整个产品总体. 则其估计步骤如下:

(1)对确定的产品总体通过某种抽样方法确定其样本序列, 可表示为 $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$

(2)利用最大似然估计对该模型的未知参数进行估计;

(3)算出未知参数 α 和 β 的估计公式;

(4)对样本空间 X 进行重复采样, 并得出子样本 X^{*1} ;

(5)利用估计公式计算出 α^{*1} 和 β^1 ;

(6)重复步骤(4)~(5) K 次, 得出 α 和 β 的子样本 $\alpha^* = \{\alpha^{*1}, \alpha^{*2}, \alpha^{*3}, \dots, \alpha^{*n}\}$, $\beta^* = \{\beta^1, \beta^2, \beta^3, \dots, \beta^{*n}\}$, 并统计其分布.

3.3 参数的估计

对于设备退化模型来说, 计算出 α 和 β 的估计值就可把该退化模型确定唯一化, 而对于利用自助法抽取出的 ω 类样本的样本子空间来说, α 和 β 满足参数不一的正态分布, 即多次的估计就可估算出 α 和 β 的分布模型, 下式是对 n 个实验样本 m 个退化量的统计矩阵:

$$\begin{matrix} \text{样本} \\ \text{退化} \\ \text{量} \end{matrix} \begin{matrix} (t_1) \\ (t_2) \\ \dots \\ (t_n) \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{matrix} \text{样本} \\ \text{退化} \\ \text{量} \end{matrix} \\ \begin{matrix} (d_1^{*1}, t_1^{*2}, d_1^{*2}) \\ (d_2^{*1}, t_2^{*2}, d_2^{*2}) \\ \dots \\ (d_n^{*1}, t_n^{*2}, d_n^{*2}) \end{matrix} \end{matrix} \dots \begin{matrix} \begin{matrix} \text{样本} \\ \text{退化} \\ \text{量} \end{matrix} \\ \begin{matrix} (t_1^m, d_1^{*m}) \\ (t_2^m, d_2^{*m}) \\ \dots \\ (t_n^m, d_n^{*m}) \end{matrix} \end{matrix}$$

由上述公式可推算出 α 和 β 的最大似然估计, 如下式所示.

$$\begin{aligned} \hat{m} &= \frac{1}{m} \hat{\alpha} \sum_{i=1}^m DD^{*i} \\ \hat{s}^2 &= \frac{1}{m} \hat{\alpha} \sum_{i=1}^m (DD - \hat{m})^2 \end{aligned} \tag{5}$$

在实际工程中当样本设备中有 $C\%$ 的样本退化到某一等级数值 Q 时, 即该批样本达到了不能满足正常设备使用功能阈值. 具有某失效阈值的某一批次产品到达了该类产品的失效阈值 ψ 时设备失效, 则失效时间 T 满足下式:

$$T \equiv \inf\{t | S_{MIN} < D(t_k) < S_{MAX}, 0 < S \leq S_{MAX}\} \quad (6)$$

其中 S_{MIN} 为达到设备失效阈值的最短时间, S_{MAX} 为所有设备完全退化的时间. 在实际工程中的 S_{MAX} 计算不具备实际价值意义, 本文仅对 S_{MIN} 进行估计.

利用自助法获取的 μ_α 、 σ_α^2 、 μ_β 和 σ_β^2 的 m 组实验样本, 根据式(9)对其可靠度进行计算, 可得其正常运行寿命的自助法估计值 $V = \{T^1, T^2, T^3, \dots, T^m\}$, 当样本可靠度低于 Z 时则该系统不能满足正常的系统要求.

$$\int_T^{+\infty} f(t | \alpha, \beta) dt = Z \quad (7)$$

则其点估计为:

$$T^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T^{*i} \quad (8)$$

由条件可知其满足单侧置信区间公式:

$$\frac{\hat{\mu} - \mu}{\hat{\sigma} / \sqrt{n}} \sim t(n-1) \quad (9)$$

则其置信下限为:

$$\mu = \hat{\mu} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} t_\zeta(n-1) \quad (10)$$

3 实例分析

本文将以某综合金融办公建筑为例进行分析, 即本实例是对于该建筑的全部 266 个网络摄像机进行的设备退化建模. 首先, 对网络摄像机的退化过程进行等级划分; 其次, 利用自助抽样法对 266 个样本进行抽样, 选出 30 个网络摄像机退化数据来进行退化模型建模; 最后, 对其抽取样本的不同置信区间和置信下限进行计算, 并得出结论. 因此, 可利用维纳过程对该视频监控系统进行稳定性预测, 并以此预测其维修周期. 三类不同位置安装的摄像头的分类统计为:

- (1)普通室外摄像机占 11%
- (2)恒温恒湿摄像机占 34%
- (3)普通室内摄像机占 55%

对子样本参数 α^* 和 β^* 进行自助法重复采样, 对采集的数据进行拟合得出频数直方图与正态分布密度函数数据采集信息.

由于该建筑是金融营业性场所, 对于安防的可靠性要求较高, 所以有 5% 的摄像机数量达到图像质量退化等级一的时候就要对该安防系统进行全方位的检测维修. 则本文选取 0.95 作为其可靠性的阈值, 计算

其在 0.95 时的单侧置信区间, 并且用四个月作为一次观测点的数据观测作为观测步长. 由统计得 μ_α 、 σ_α^2 、 μ_β 和 σ_β^2 如表 3 所示.

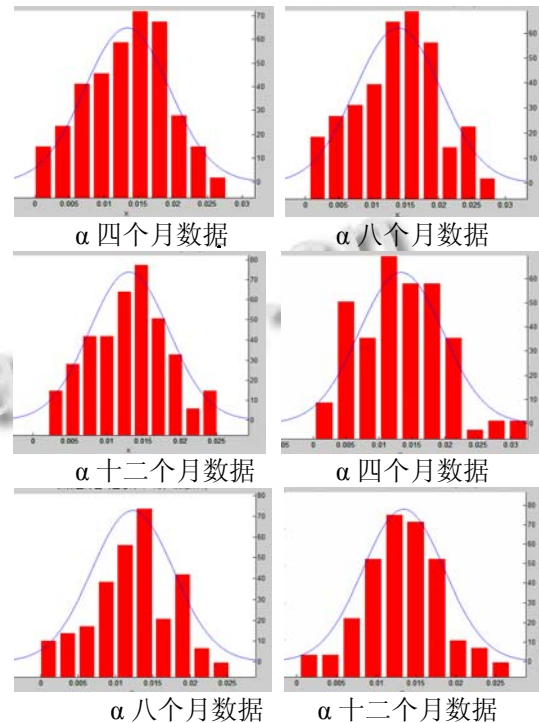


图 3 参数数据分布图

表 3 参数数据表

	四月	八月	十二月
μ_α	0.0138	0.0132	0.0140
σ_α^2	0.00756	0.00742	0.00759
μ_β	0.0126	0.0128	0.0138
σ_β^2	0.00562	0.00563	0.00543

由以上数据和公式(7)和(8)可得出其点估计 T^* 为 18.9, 其相应置信水平下的置信下限如下图

表 4 置信水平数据

置信水平	0.95	0.90	0.85	0.80
置信下限	15.6	16.1	16.9	17.6

则该建筑的网络摄像机的维修周期为 15.6 个月, 即 1.56 年.

4 小结

为了对网络摄像机的退化模型进行建模, 得到样本整体的退化参数, 本文对样本运用自助抽样法对样本空间进行合理采样, 对其模型参数进行估计, 并利用图像的峰值信噪比为退化标准定义了摄像机的退化模

型。该方法能预测样本整体的退化模型,提高预测精度。对无法获得同类产品先验数据的维修周期预测和设备稳定性有一定的应用价值。

参考文献

- 1 陈志华.安全防范系统建设与运用过程中的效能评估.中国人民公安大学学报(自然科学版),2008,1:51-55.
- 2 蔡金燕.电子装备系统性能可靠性分析与评估研究[学位论文].南京:南京理工大学,2010.
- 3 梁军.粒子滤波算法及其应用研究[学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- 4 刘志仓.基于粒子滤波的非线性系统故障诊断与预测方法研究[学位论文].西安:西安电子科技大学,2013.
- 5 邱燕平.退化故障下设备可靠性的卡尔曼滤波器预测方法[学位论文].合肥:合肥工业大学,2010.
- 6 郭超众.基于马尔可夫模型的寿命预测技术研究[学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- 7 李晓阳,姜同敏.基于加速退化模型的卫星组件寿命与可靠性评估方法.航空学报,2007,S1:100-103.
- 8 宋玲.具有随机退化率的加速退化模型的统计分析[学位论文].上海:华东师范大学,2009.
- 9 Wang Ty, Li Zg, Zuo S, Guo JX, Deng K. Degradation modeling and residual life prediction of electronic devices based on Wiener process. Electrical Products Reliability Society of Chinese Electrotechnical Society(中国电工技术学会电工产品可靠性研究会),2014:5.
- 10 Wang P, Coit DW. Reliability prediction based on degradation modeling for systems with multiple degradation measures. Proc. of the Annual Reliability and Maintainability Symposium. Los Angeles, 2004. 302-307.
- 11 Park C, Padgett WJ. Stochastic degradation models with several accelerating variables. IEEE Trans. on Reliability, 2006, 55(2): 379-390.
- 12 马涛.性能退化与寿命数据融合的贝叶斯方法研究.现代防御技术,2015,4:166-171.
- 13 陈志军,王前程,陈云霞.基于寿命分布和贝叶斯的加速因子确定方法.系统工程与电子技术,2015,5:1224-1228.
- 14 中华人民共和国工业和信息化部 GB50464-2008 视频显示系统工程技术规范.北京:中国标准出版社,2008
- 15 周庆元.PPS 和简单随机抽样估计效率的实证检验.统计与决策,2014,1:14-17.