

图 2 ADC/012/10V 模块的输出线性

精度又称精确度，用来描述测量结果与真值的接近程度，是测量结果中系统误差与随机误差的综合，即精密准确程度。只有当系统误差和随机误差都小时才能成为精度高，图 3 (a) 所示。

准确度用来描述测量结果中系统误差的大小程度，即在一定条件下，测量中所有系统误差的综合。测量中系统误差越大，则被测量的测量结果对其真值的偏离越大，测量结果的准确度越低，图 3 (b) 所示。

精密度用来描述测量结果中随机误差的大小程度，即在一定条件下进行多次重复测量时，各测量值之间的接近程度。随机误差越大，数据越分散，测量值的精密度越低，图 3 (c) 所示。

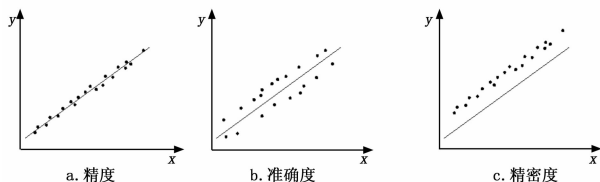


图 3 精度等示意图

3 用“6 西格玛”方法分析压力参数的误差

西格玛原文为希腊字母 sigma，其含义为“标准偏差”，6 西格玛意为“6 倍标准差”，在质量上表示每百万坏品率少于 3.4，图 4 为不同西格玛水值对应的出错率。6 西格玛模式的含义并不简单地指上述这些内容，而是一整套系统的理论和实践方法，是一项以数据为基础追求几乎完美的质量管理方法。6 西格玛管理方法重点是将所有的工作作为一种流程，采用量化的方法分析流程中影响质量的因素，找出关键的因素加以改进从而达到更高的客户满意度。

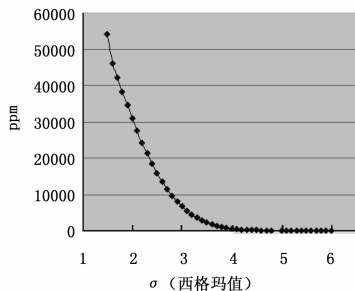


图 4 不同 σ 值对应出错率

用 6 西格玛方法分析测试参数误差，其典型西格玛水平对应的出错率及出错时间间隔如表 1 所示，其工作流程如图 5 所示。

表 1 典型西格玛水平出错率及出错时间间隔

西格玛水平	可信度	出错率 (PPM)	参数出错时间间隔	参数采样率
3σ	93.3%	66800	42 毫秒	32 次/秒
6σ	99.99966%	3.4	2.4 小时	32 次/秒

1) 当 $\delta_{lim} \geq 3\sigma$ 时, $P\{x_0 - x_0 \cdot 1\% \leq x \leq x_0 + x_0 \cdot 1\%\} \geq 99.73\%$ 考虑到实际情况下分布曲线中心线会偏移, 实际只能达到 $P \geq 93.3\%$;

2) 当 $\delta_{lim} \geq 6\sigma$ 时, 实际只能达到 $P \geq 99.99966\%$ 。

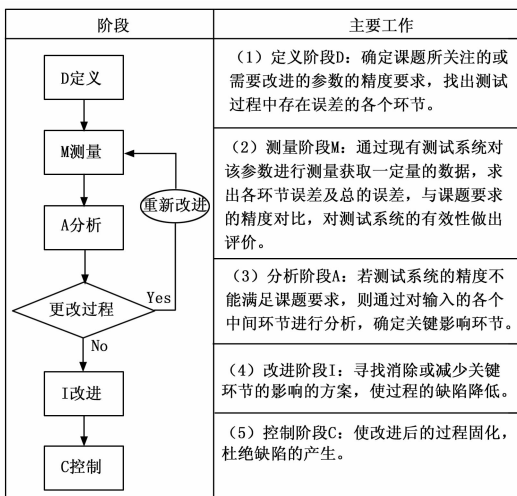


图 5 6 用西格玛方法分析测试参数误差的流程

3.1 定义阶段

课题任务书提出的压力参数精度为 0.5%，是指测得值的极限误差相对于真值的百分比，假设真值为 x_0 ，极限误差 $\delta_{lim} = x_0 \cdot 0.5\%$ 。引起误差的环节很多：

- 1) 标准器自身误差；
- 2) 传感器自身误差；
- 3) 被校传感器在标准器上的连接方式误差；
- 4) 数据采集与处理设备的误差；
- 5) 机上安装误差；
- 6) 电气连接误差。

在试验室环节通过对传感器及采集器等设备的联校基本消除了系统误差；在压力传感器装机后带来的误差主要是系统误差，通过严格控制管路长度、计算修正可以基本消除；电气连接误差主要由共地问题引起的非线性误差，确保正确共地后，误差基本消除；但各环节中随机误差由很多不确定因素造成是无法消除的；对于压力参数，误差分析的重点在传感器、调节器、采集器本身及联校环节的随机误差。

因此将传感器单独输入输出、采集器单独输入输出、联校时的输入输出作为实验考虑的环节，根据得到实验数据，用统计学方法算出各环节输出相对误差的标准差 σ_1 、 σ_2 、 σ_0 。

3.2 测量阶段

对三架机的 168 个压力传感器的校准历史数据为样本进行分析，输入和输出是线性关系，校线是经多次测量回归出的一条直线，以直线上的点为理想值，以校准记录的各点为实际值，求出各环节每个点的实际相对误差及 FSR 误差，如图 6 所示。

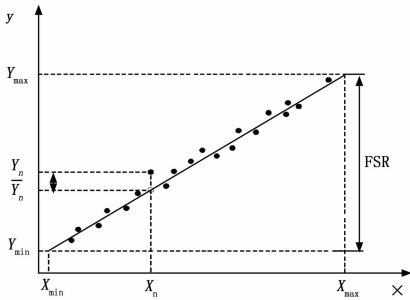


图 6 实际相对误差及 FSR 误差

1) 实际相对误差:

(实际值-理想值)/理想值, 得到每个点的相对误差, 共 1 107 个点, 以这 1 107 个点的相对误差为样本, 样本用 A_n ($n=1, 2, \dots, 1 107$) 表示,

$A_n = Y_n / \bar{Y}_n$, 反复测量的各点的相对误差为随机误差, $A \sim N(0, \sigma^2)$, 按概率论和数理统计方法, 在一定置信概率下随机误差的极限值 δ_{lim} 作为测量列每一测得值的随机误差。

$A_n = \Delta Y_n / \bar{Y}_n = \frac{Y_n - \bar{Y}_n}{\bar{Y}_n} = (\frac{Y_n}{a_j X_n + b_j} - 1) \times 100\%$ (X_n, Y_n) 为每个校准点的坐标, 对于每个传感器的校线 $y = a_j x + b_j$, a_j, b_j 值通过该传感器的校准点回归得出。

将 1 107 个点所对应的 X_n, Y_n, a_j, b_j 值分别代入求出 A_n

通过贝塞尔公式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \nu_n^2}{N-1}}$$

式中, $N: 1 107; \nu_n$ 为残余误差, $\nu_n = A_n$

计算得到:

$$\sigma_1 = 0.23\%, \sigma_2 = 0.1\%$$

$$\sigma = 0.202\%, 3\sigma = 0.606\%, 6\sigma = 1.21\%$$

2) FSR 误差:

几乎所有传感器及设备都给出了满量程精度这一指标来表示它的精度等级 (如 0.5% F.S), 它是指传感器或设备静态校准曲线与拟和直线间的最大偏差 Y_{max} 与满量程输出比的百分数。

(实际值-理想值)/FSR, 得到每个点的相对误差, 共 1 107 个点, 以这 1 107 个点的相对误差为样本, 样本用 B_n ($n=1, 2, \dots, 1 107$) 表示, $B_n = Y_n / FSR, FSR = Y_{max} - Y_{min}$, 反复测量的各点的相对误差为随机误差, $B \sim N(x_0, \sigma^2)$, 按概率论和数理统计方法, 在一定置信概率下随机误差的极限值 δ_{lim} 作为测量列中每一测得值的随机误差。

$$B_n = \Delta Y_n / FSR \frac{Y_n - a_j X_n - b_j}{FSR} \times 100\%$$

(X_n, Y_n) 为每个校准点的坐标, 对于每个传感器的校线 $y = a_j x + b_j$, a_j, b_j 值通过该传感器的校准点回归得出。

将 1 107 个点所对应的 X_n, Y_n, a_j, b_j 值分别代入求出 B_n

通过贝塞尔公式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \nu_n^2}{N-1}}$$

式中, $N: 1107, \nu_n$ 为残余误差, $\nu_n = B_n$

计算得到:

$$\sigma_1 = 0.055\%, \sigma_2 = 0.05\%,$$

$$\sigma = 0.052\%, 3\sigma = 0.156\%, 6\sigma = 0.312\%$$

3.3 分析阶段

通过计算得到了两种精度结果, 如表 2 所示, 将得到的两种精度结果进行对比

1) 分析方法的不同导致了结果差别较大。

(1) FSR 精度是各测点的绝对误差相对于满量程的比值, FSR 精度容易保证。通过“六西格玛”方法得到压力参数的 FSR 精度为 0.31%, 小于 0.5%, 满足课题 FSR 精度要求。

表 2 计算得到的两种精度结果

方法	σ	3σ	6σ	极限误差	西格玛水平	置信度
FSR 精度	0.052	0.156%	0.312%	0.5%	$>6\sigma$	100%
实际精度	0.202%	0.606%	1.21%	0.5%	2.5σ	84%

(2) 实际精度是各测点的绝对误差相对于该点真值的比值, 在小量程范围的精度不易保证。只使用传感器后 84% 的量程能满足 0.5% 精度要求。

2. 从实际精度的数据可以看出:

(1) 从精度要求为 0.5%, 而置信度只能达到 84% 来分析, 原因为传感器信号区间有 16% 是达不到 0.5% 精度要求的, 可以理解为传感器量程的前 16% 区域相对误差可能会超出 0.5%。

(2) 从精度要求为 1.21%, 而置信度能达到 100% 来分析, 可以理解为传感器在整个量程区间的实际精度为 1.21%。

(3) 如果要求实际精度, 压力参数的精度在传感器量程后 84% 的区间能满足 0.5% 精度要求, 而在前 16% 区域精度处于 0.5%~1.21% 之间。

3.4 改进及控制阶段

1) 提高传感器及采集器小量程范围的精度。这个很难做到, 代价太高。

2) 事先确认参数具体压力变化区间, 根据测试系统精度分布特点选用更合适范围的传感器来保证精度要求。

4 结论

1) 将“六西格玛”方法 (DMAIC) 用于测试参数的误差分析, 取得较好的效果, 说明“六西格玛”方法用于参数误差分析是可行的, 能推广到其它各类参数的误差分析。

2) 通过“六西格玛”方法分析测试系统误差, 利于在现有条件下更合理配套测试仪器, 更好大满足参数测试精度需求。

参考文献:

[1] 任屹云. 精益六西格玛项目管理模式研究及系统开发 [J]. 现代管理技术, 2011, 38 (1): 40-46.
 [2] 胡鸿志. 基于电源电流和输出电压的模拟电路故障模型研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (7): 2266-2269.
 [3] 姚明源. 差压式流量计的误差分析及处理 [J]. 仪表技术, 2012, 2: 48-50.
 [4] 于丽杰. MEMS 传感器随机误差分析 [J]. 传感器与微系统, 2012, 31 (3): 63-65.
 [5] 宋凝芳. 光纤陀螺随机误差特性的小波方差分析 [J]. 红外与激光工程, 2010, 39 (5): 924-928.

小,可以广泛地应用在各种使用光电三极管或者检测光电三极管特性的场合。

参考文献:

[1] 郭松野,王东兴,汪广羊,等.有机薄膜光敏三极管动态特性及其应用[J].应用科技,2010(2):24-27.

[2] 戴薇,唐世洪,温明生.硅光电管光电转换特性的测量分析及应用[J].吉首大学学报(自然科学版),1989(2):37-43.

[3] 曲洪丰.光电探测器特性一体化实验系统研究[D].杭州:浙江大学,2006.

[4] 石仲斌.光敏三极管光电特性[J].半导体光电,1998(4):67

-71.

[5] Wang C C. . Elan Microel ectronics Corporation; Patent Issued for Method and Circuit for Trimming an Internal Oscillator of a USB Device [J]. Journal of Engineering (Apr 2, 2014): 944.

[6] 王建新,隋美丽. LabWindows/CVI 虚拟仪器测试技术及工程应用[M].北京:化学工业出版社,2011.

[7] Zhao W J. Study on the Auto Air Conditioning Controller Testing System Based on Lab Windows/CVI [J] . Modern Applied Science 4. 10 (Oct 2010): 85-90.

[8] 苏学能,白懿鹏.光电转换元件的特性研究[J].电子技术与软件工程,2013,15:95-97.

(上接第 286 页)

自然时间中的非工作时间,得到检出和检入时间差作为进行一次维护的实际工作时间,实际数据的处理过程如下:其检出时间为 2010.04.08 09:18,检入时间为 2010.04.08 16:30,通过与开发人员的沟通,每天工作时间 8 小时,上班时间为上午八点到十二点,下午两点到六点,实际工作时间为:

- 2010.04.08 09:18 到 2010.04.08 12:00;
- 2010.04.09 14:00 到 2010.04.09 16:30;

得到此次维护的维护时间为 5 小时。而维护计划时间为 8 小时,容忍时间为 2 小时,因此该模型的可维护性状态属于易维护。对该模块的维护记录数据收集如表 2 所示。

由表中数据可以统计出,该模块的可维护性处于 3 种状态的概率分别为 $P(s_0) = 60\%$, $P(s_1) = 30\%$, $P(s_2) = 10\%$ 。将 $\pi_0 = (0.6, 0.3, 0.1)$ 作为初始状态概率代入式(4),利用参数重估公式(5)对模型进行训练,得到反映实际维护性状态转移的 HMC 模型。运用训练好的模型对各模块的后 10 次维护过程进行跟踪对比验证,结果如表 3 所示。

表 2 “训练内容”模块维护时间数据收集

修改编号	计划维护时间(h)	容忍时间(h)	实际维护时间(h)
M1	8	2	5
M2	3	1	2
M3	2	1	2.5
M4	1	0.5	2
M5	3	1	2
M6	4	2	5
M7	2	1	3
M8	3	1	1
M9	3	1	2
M10	3	1	1

表 3 评估结果分析

可维护性状态分布	易维护状态概率 $P(s_0)$	可维护状态概率 $P(s_1)$	不可维护状态概率 $P(s_2)$
HMC 模型评估	0.62	0.31	0.07
实测维护任务统计概率	0.56	0.42	0.02

3.2 结果分析

从计算结果中可看出,模型所预测出的软件维护性状态概

率与实际维护进程中软件的可维护性状态概率基本一致,所测试的软件模块处于易维护性状态。

4 结论

针对软件维护性定量评估依赖主观经验多,可操作性弱,评估稳定度低下的问题,提出了一种软件维护性评估的新方法。建立可维护性状态转移模型,不仅能够对维护进程中的不确定信息进行处理,同时,该模型能够充分利用反映维护性外部表现的历史维护数据和软件规模、复杂度等软件自身的设计特性对软件系统进行合理的评估。实例分析表明,本文提出的方法是有效的,易于实施且具有可重复性。

参考文献:

[1] Oman P. and Hagemester J. Metrics for Assessing a Software System’s Maintainability [A] . In proceedings of Conference on Software Maintenance [C] . IEEE, 1992.

[2] Misra, S. C. . Modeling design/coding factors that drive maintainability of software systems [J]. Software Quality Journal 13 (3), 2005; 297-320.

[3] Thwin, M. M. T., Quah, T. S. . Application of neural networks for software quality prediction using object-oriented metrics [J]. Journal of Systems and Software 76 (2), 2005; 147-156.

[4] Fenton N E, Krause Paul Neil M. Software measurement; uncertainty and causal modeling [J]. IEEE Software 19 (4), 2002; 116-122.

[5] Sussy B, Jose A, Gonzalo C, eta al. Critical success factors taxonomy for software process deployment [J]. Software Qual J, 2014 (22); 21-48.

[6] 吴军,邵新宇,邓超.隐马尔可夫链模型在装备运行可靠性预测中的应用[J].中国机械工程,2010,21(19):2345-2349.

[7] 蔡金锭,鄢仁武. ARMA 双谱分析与离散隐马尔可夫模型在电力电子电路故障诊断中的应用[J].中国电机工程学报,2010,30(24):54-60.

[8] 黄景德,郝学良,黄义.基于改进 HMM 的潜在电子故障状态识别模型[J].仪器仪表学报,2011,32(11):2481-2486.

[9] 冷晓艳,刘宇,段俊斌,等.装备软件综合保障研究[J].计算机测量与控制,2013,21(10):2750-2752.

[10] 杜晶,杨叶,王青,等.基于证据的可信软件过程评估方法[J].计算机科学与探索,2011,5(6):501-512.

[11] 李明树,杨秋松,翟健.软件过程建模方法研究[J].软件学报,2009,20(3):524-545.