

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.03.025

基于蒙特卡洛法的用电信息采集系统可靠性评估模型

王进¹, 钟啸², 冯隆基³, 陈霄¹, 林梓圻², 孙秋芹²

(1. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 3. 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司, 江苏 南京 210008)

摘要:采集终端的可靠性是用电信息采集系统安全运行的关键。文中建立了用电信息采集系统可靠性评估模型, 包括采集终端的停运模型、多维特征因子关联失效判定模型以及风险评估方法。分别采用序贯蒙特卡洛法与非序贯蒙特卡洛法对算例进行风险评估, 通过对二者的评估结果进行对比分析, 序贯蒙特卡洛法因其采用时间抽样技术, 可以在时间轴上对采集系统进行仿真, 更适合用电采集系统的风险评估。同时, 采用多维特征因子关联模型来判断用电信息采集系统是否失效, 对用电信息采集系统的风险指标与多维特征因子关联模型中的阈值之间的关系进行了研究, 获得了二者之间的关系曲线, 通过实际算例分析可知, 阈值的最优取值是曲线中的拐点。

关键词:用电信息采集系统; 可靠性评估; 蒙特卡洛法; 多维特征因子关联模型

中图分类号: TM933

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2020)03-0173-07

0 引言

用电信息采集系统建设是坚强智能电网的重要内容, 是集现代数字通信技术、计算机软硬件技术、电能计量技术、电力负荷管理技术和电力营销技术为一体的综合性、实时性信息采集、分析处理及数据应用的平台^[1-5]。为构建智能电网与电力用户电力流、信息流、业务流实时互动的新型供用电关系, 中国开始按照统一的技术标准和方案, 全力推进用电信息采集系统建设^[6-8], 随着电能信息采集规模持续增加, 管理维护难度越来越大, 建立用电信息采集系统运维质量评价模型显得尤为重要。通过运维质量评价模型对采集系统进行可靠性评估, 模拟系统在实际运行中可能出现的故障, 把系统的可靠性指标作为参考依据, 对系统进行调整与改进, 确保系统可靠高效运行^[9-11]。

目前学界对用电信息采集系统的可靠性已开展了多方面的研究。文献[12]利用威布尔分布模型建立采集终端的寿命分布函数, 通过开展温度湿度加速寿命试验获得采集终端样本在多种应力水平下的失效数据, 然后基于 Peck 模型推导出正常使用条件下的采集终端可靠性特征量估计值。文献[13]介绍了用电采集系统的多重失效模式, 主要包括通信失效、电能表数据抄收失效、模拟量测量失效等模式, 同时针对采集设备多失效模式的情形, 提出采集设备可靠性验证试验方法, 建立了采集设

备的可靠性串联模型, 给出失效模式和失效判据。另外, 蒙特卡洛模拟法在可靠性评估方面有着广泛的应用。文献[14]将蒙特卡洛模拟法应用在造船项目上, 建立了投资可靠性分析模型, 降低了对历史数据的要求。文献[15]把蒙特卡洛模拟法运用到污水处理项目的可靠性分析中, 发现在用蒙特卡洛模拟现金流量法时, 会使污水处理项目的可靠性分析模型更加简洁。上述文献研究了采集设备的可靠性模型及相应的可靠性参数, 但是对用电信息采集系统可靠性模型的研究甚少。而蒙特卡洛模拟法经常运用在实际生产过程的可靠性分析中, 因此文中主要介绍基于蒙特卡洛法的用电信息采集系统的可靠性建模。

文中利用采集系统中各元件的故障率与修复率等质量参数建立采集终端两元件停运模型, 采用蒙特卡洛法进行生产模拟, 随机生成系统可能出现的状态, 从而统计出采集系统的可靠性指标, 实现对采集系统的可靠性评估。

1 蒙特卡洛模拟法原理

蒙特卡洛法分序贯与非序贯2种, 本质上均是将大量随机试验的统计结果近似等效为事件发生概率, 只是二者产生系统随机状态的方法不同。

1.1 非序贯蒙特卡洛法

非序贯蒙特卡洛模拟法即状态抽样法(state sampling, SS), 广泛用在系统风险评估中。其原理为一个系统状态是所有元件状态的组合, 且每一元件状态可由对元件出现在该状态的概率进行抽样来确定。每一元件可用一个在 $[0, 1]$ 区间的均匀分

收稿日期: 2019-11-20; 修回日期: 2019-12-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51607061); 国家电网有限公司总部科技项目(5216A018000N)

布来模拟。设每一元件有停运和运行 2 个状态,且各元件的停运是相互独立的。令 S_i 表示元件 i 的状态, Q_i 为其失效概率, R_i 为对元件 i 产生的一个在 $[0, 1]$ 区间均匀分布的随机数, 则:

$$S_i = \begin{cases} 0 & R_i > Q_i \\ 1 & 0 \leq R_i \leq Q_i \end{cases} \quad (1)$$

具有 N 个元件的系统状态由矢量 S_p 表示:

$$S_p = (S_1, \dots, S_i, \dots, S_N) \quad (2)$$

一个系统状态在抽样中被选定后, 即进行系统分析以判断其是否为失效。若是, 则对该状态风险指标函数进行估计。当抽样数量足够大时, 系统状态 S_p 的抽样频率可作为其概率的无偏估计, 即^[16]:

$$P(S_p) = \frac{m(S_p)}{M} \quad (3)$$

式中: M 为抽样数; $m(S_p)$ 为在抽样中系统状态 S_p 出现的次数。

当每一个系统状态的概率通过抽样估计以后, 就可用相应的公式计算系统失效概率、系统失效平均持续时间, 以及系统其他风险指标。

1.2 序贯蒙特卡洛法

序贯蒙特卡洛法即状态转移抽样技术 (state transition sampling, STS), 其基本思想是按时序, 在一个规定时间周期内建立一个虚拟的系统状态循环转移过程, 并对每一个系统状态进行计算分析, 最终通过统计规律得到评价指标, 其计算公式为^[17]:

$$\hat{I} = \frac{1}{T} \int_0^T f(x_t) dt \quad (4)$$

式中: T 为仿真总时长; x_t 为系统在 t 时刻的运行状态; $f(x_t)$ 为系统评价指标的测试函数; \hat{I} 为系统评价指标的估计值。

系统运行状态 x_t 按照设定的计算时间粒度转移变化, 因此, 系统状态转移是一个离散化的过程, 可将其表示为^[17]:

$$\hat{I} = \frac{1}{n \times 8760} \sum_{i=1}^n \int_{8760(i-1)}^{8760i} f(x_t) dt = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (5)$$

式中: n 为仿真总时长; I_i 为第 i 年的系统评价指标结果。

根据大数定律, 样本均值 \hat{I} 是系统评价期望值 I 的无偏估计值, 对于任何 $\varepsilon > 0$, 其估计值 \hat{I} 满足^[17]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{|\hat{I} - I| < \varepsilon\} = 1 \quad (6)$$

因此, 在较长时间仿真之后, $n \rightarrow \infty$, 样本均值 \hat{I} 收敛于期望值 I 的概率为 1, 故此方法的收敛性得以保证。序贯蒙特卡洛模拟法一般通过多次模拟计

算, 直至某个收敛最慢的统计指标收敛, 则认为收敛。收敛判据为^[17]:

$$\frac{\sigma(X)}{\sqrt{N}E(X)} < \varepsilon \quad (7)$$

式中: X 为某收敛最慢的评价指标; $\sigma(X)$ 为 X 的标准差; $E(X)$ 为 X 的均值; N 为模拟仿真年数; ε 为收敛判据的给定值, 一般取为 0.03~0.08^[17]。

2 采集系统停运模型

2.1 元件两状态停运模型

采集终端主要由集中抄表终端与智能电表、配变监测终端等组成。对上述元件做以下简化处理:

(1) 假设采集终端各元件之间停运是相互独立的, 只需考虑其独立停运模型;

(2) 认为采集终端故障是可修复强迫性停运, 忽略因老化等导致的致命性失效事件和计划停运。

在上述前提条件下, 利用元件的故障率 λ 与修复率 μ 建立了采集终端元件两状态模型, 即采集终端各种元件在工作过程中只有“运行”和“停运”这两种状态, 会按照“运行-停运-运行”的顺序进行循环移动, 如图 1 所示。

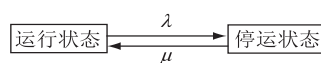


图 1 采集终端元件状态

Fig.1 States of acquisition terminal element

2.2 采集系统中各元件状态时间的生成

通过对各台区采集终端进行统计分析, 各类元件发生可修复强迫性故障的时间曲线呈近似指数分布, 因此采用指数分布的随机变量。指数分布累积概率分布函数为^[18]:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (8)$$

使产生均匀分布随机数 R 为:

$$R = F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (9)$$

通过逆变换可得:

$$X = F^{-1}(R) = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - R) \quad (10)$$

因 $(1-R)$ 和 R 是以完全相同的方式均匀分布于区间 $[0, 1]$, 所以上式可以等效为:

$$X = -\frac{1}{\lambda} \ln(R) \quad (11)$$

式中: R 为均匀分布的随机数序列; 当 X 为元件的运行时间时, λ 为失效率 (失效次数/年); 当 X 为元件的停运时间时, λ 为修复率 (修复次数/年)。

利用式 (11) 可生成基于一组随机数的采集终端元件停运或运行状态持续时间, 即可产生采集终

端各元件的状态时序转移图,如图2所示。

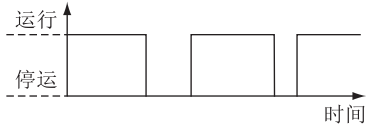


图2 采集终端元件运行-停运循环过程

Fig.2 Acquisition terminal element operation-shutdown cycle process

2.3 采集系统多维特征因子关联模型

用电信息采集系统处于失效状态往往是由多个采集元件同时发生故障导致,采集系统中各采集元件的关键程度不同对采集系统的影响也不同,另外用电信息采集系统的结构是串并联以及权联等复合结构。这时就需要建立判断采集系统是否处于失效状态的一个综合性评判标准,即建立基于多维特征因子的采集系统关联模型^[19]:

$$P = x_1 e_1 + x_2 e_2 + \dots + x_k e_k \leq E \quad (12)$$

式中: x_i 为不同采集元件配置权值,其值需根据此采集终端与用电信息采集系统发生失效的关联程度和实际发生故障的现场稽查结果进行配置和修改; e_i 为第*i*个采集元件的运行状态,为1时表示正常工作,为0时表示发生故障。当关联模型计算值*P*大于阈值*E*时,可以判定采集系统处于失效状态。

3 采集系统可靠性指标

目前尚未形成完整的采集系统可靠性评价体系。文中基于序贯蒙特卡洛法,对采集系统可靠性评估设定了以下5个风险指标^[20]:

(1) 失效频率:

$$F_f = \frac{M_{dn}}{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk} + \sum_{k=1}^{M_{up}} D_{uk}} \quad (13)$$

(2) 失效平均持续时间(h/次):

$$D_f = \frac{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk}}{M_{dn}} \quad (14)$$

(3) 失效概率:

$$P = \frac{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk}}{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk} + \sum_{k=1}^{M_{up}} D_{uk}} \quad (15)$$

(4) 失效时间期望(h):

$$E = \frac{T \sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk}}{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk} + \sum_{k=1}^{M_{up}} D_{uk}} \quad (16)$$

(5) 期望阈值相差量:

$$S = \frac{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk} C_{dk}}{\sum_{k=1}^{M_{dn}} D_{dk} + \sum_{k=1}^{M_{up}} D_{uk}} \quad (17)$$

式中: D_{dk} 为系统在给定仿真时间内出现失效状态的持续时间; D_{uk} 为系统在给定仿真时间内出现正常运行状态的持续时间; M_{dn} 为系统在特定仿真时间内出现采集系统失效状态的总次数; M_{up} 为系统在特定仿真时间内出现采集系统正常运行状态的总次数; T 为给定的时间区间的总小时数,如 $T=8760$ (即为一年的总小时数); C_{dk} 为系统每次发生失效时采集系统的多维特征因子关联模型计算值与阈值差值的绝对值。

4 采集系统可靠性评估步骤

序贯蒙特卡洛法是按照时序,采用状态持续时间抽样法,在一个时间跨度上进行模拟。状态持续时间抽样法是基于对元件状态持续时间的概率分布进行抽样,分为5个步骤。

步骤一:指定采集系统所有元件初始状态,通常假设所有元件处于运行状态。

步骤二:对采集系统每一元件停留在当前状态的持续时间进行抽样。通过式(11)得出每个元件的停运或运行持续时间。

步骤三:在所研究(抽样)的时间跨度内重复第二步,并记录采集系统所有元件的每个状态持续时间的抽样值,即可得出在研究时间跨度内的每个元件的时序状态转移过程,如图3所示。

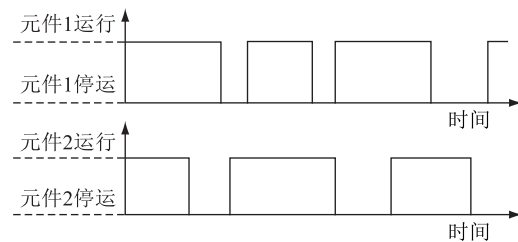


图3 采集系统中元件时序状态转移过程

Fig.3 Acquisition terminal element timing state transition process

步骤四:组合采集系统所有元件的状态转移过程,以建立整个采集系统时序状态转移循环过程,如图4所示。

步骤五:通过对系统的不同状态进行分析,在系统状态转移循环过程中,记录系统失效状态的持续时间以及后果。系统风险指标可按式(13)一式(17)进行计算。

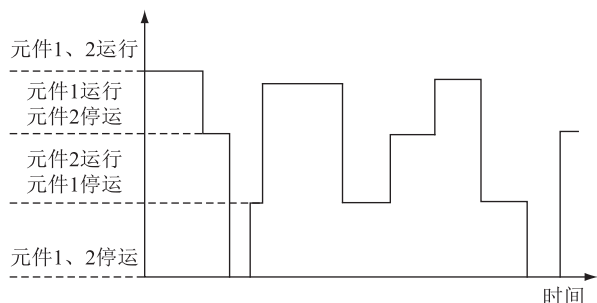


图4 采集系统时序状态转移过程

Fig.4 Acquisition system timing state transition process

采集系统可靠性分析算法具体流程如图5所示,可完成对用电信息采集系统的可靠性评估。

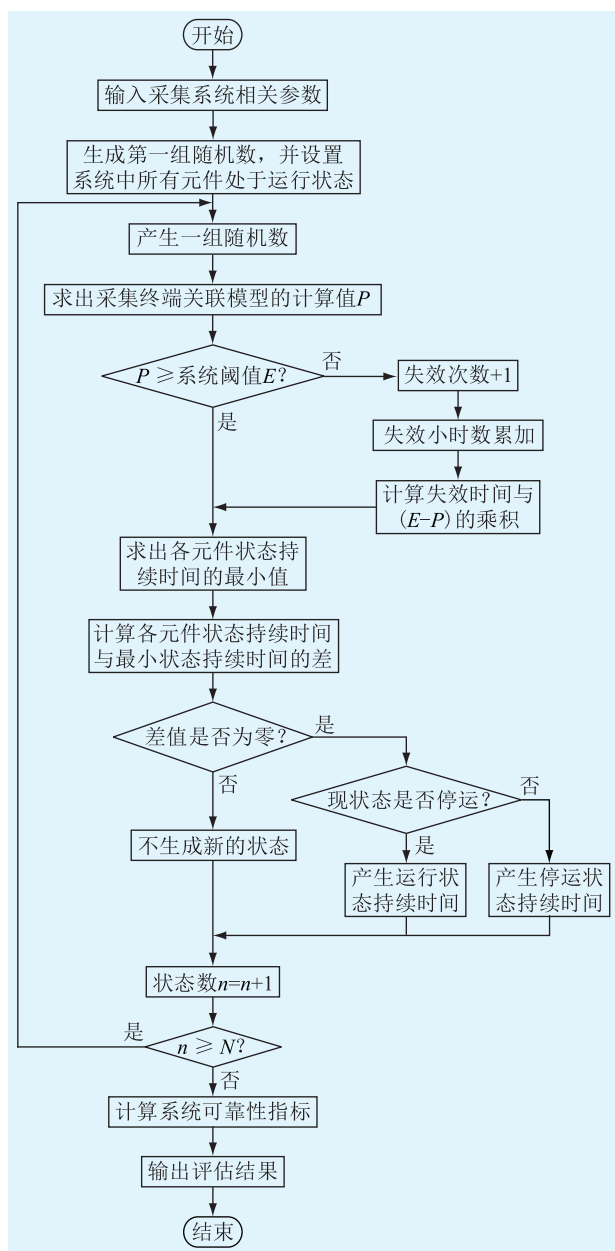


图5 采集系统可靠性分析流程

Fig.5 Procedure of reliability evaluation for acquisition system

5 案例分析

以某台区用电信息采集系统原始数据为例,共有采集终端11个,各采集元件参数如表1所示。

表1 采集系统可靠性参数

Table 1 Reliability parameters of an acquisition system

编号	故障率 $\lambda/$ (次·a ⁻¹)	修复时间 $\gamma/$ (h·次 ⁻¹)	权重比例
1	2	45	0.05
2	2	45	0.05
3	2.4	55	0.20
4	2.4	55	0.20
5	2.4	55	0.20
6	2.4	55	0.20
7	2.4	60	0.40
8	3	45	0.10
9	4	45	0.20
10	5	45	0.40
11	6	45	0.40

设关联模型中的阈值 E 为 1.80,采用基于序贯蒙特卡洛法的用电信息采集元件可靠性评价模型对此采集系统进行可靠性分析,结果如表2所示。

表2 基于 STS 法的采集系统可靠性指标

Table 2 Reliability index of acquisition system based on STS method

仿真时间/h	P	E/h	S
1.174 8×10 ⁴	0.003 584	31.399 9	6.947 25
1.114 0×10 ⁵	0.001 167	9.348 6	1.869 71
1.197 7×10 ⁶	0.002 926	25.501 7	5.311 83
1.184 6×10 ⁷	0.002 600	22.778 4	4.754 25
5.966 1×10 ⁷	0.002 497	21.874 0	4.535 14
1.190 0×10 ⁸	0.002 539	22.189 0	4.593 97
5.954 7×10 ⁸	0.002 509	21.804 7	4.531 22

随着仿真时间的不断增加,采集系统的可靠性指标逐渐收敛如下:失效概率为 0.002 5;失效时间期望为 21.80 h;期望阈值相差量为 4.53。采集系统的可靠性指标与仿真时间关系曲线见图6。

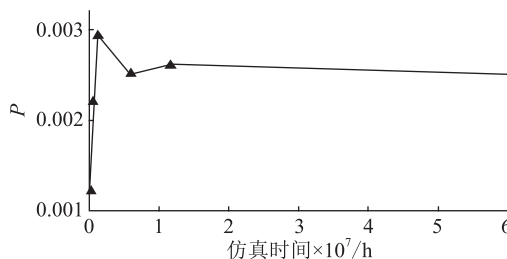


图6 失效概率 P 与仿真时间关系曲线

Fig.6 Relationship between failure probability and simulation time

由图 6 可知,随着仿真时间增加,系统失效概率收敛于 0.002 5,此时系统失效概率与实际值接近。曲线变化趋势与基于蒙特卡洛的采集系统可靠性分析模型的核心思想一致,即通过大量的随机实验,实验结果的统计值将无限接近真实值。通过改变采集终端的多维特征因子关联模型中阈值 E ,再对此用电信息采集系统进行可靠性评估,结果如表 3 所示。

表 3 不同阈值 E 的采集系统可靠性指标
Table 3 Reliability index of acquisition system with different threshold E

阈值 E	F_f	$D_f/(h \cdot \text{次}^{-1})$	P	E/h	S
1.85	0.045	22.033	0.008 3	72.31	8.17
1.83	0.044	21.388	0.008 0	69.74	6.40
1.80	0.015	19.978	0.002 5	22.19	4.53
1.70	0.013	20.559	0.002 3	19.81	2.41

如表 3 所示,随着阈值 E 的减小,采集系统各项风险指标呈递减趋势,但是变化量在 1.83~1.80 之间变化明显,关系曲线近视呈手肘形。在采集终端的多维特征因子关联模型中阈值 E 的选定可以根据系统的风险指标变化趋势,避免对系统风险评判过高或过低,依据手肘法原理可将阈值 E 与失效概率 P 关系曲线的拐点作为阈值 E 最优值,如图 7 所示。

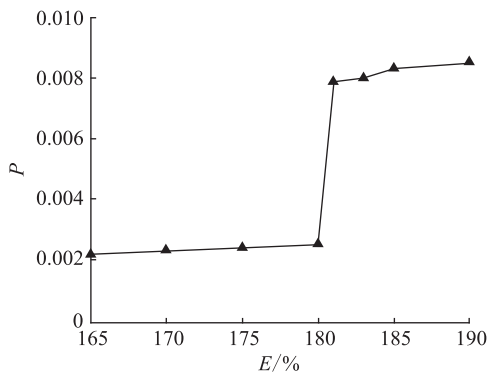


图 7 失效概率与阈值关系曲线
Fig.7 Relationship between failure probability and threshold

采用非序贯蒙特卡洛法对此用电信息采集系统进行风险评估,评估结果如表 4 所示。

与序贯蒙特卡洛法类似,随着抽样次数的增多,系统失效概率、失效时间期望等参数趋近于稳定,符合蒙特卡洛模拟法的核心思想。其中 SS 法的评估结果与 STS 法评估结果接近,表明蒙特卡洛法对用电信息采集系统评估结果具有唯一性与确定性,不会因生成系统状态方法的不同而造成不一样的评估结果。SS 法是以抽样试验次数为基准,STS

表 4 基于 SS 法的采集系统可靠性指标
Table 4 Reliability index of acquisition system based on SS method

抽样次数	P	E/h	S
1 000	0.004 000	35.040 0	7.008 00
10 000	0.002 000	17.520 0	3.942 00
100 000	0.002 620	22.951 2	4.826 76
1 000 000	0.002 500	21.900 0	4.490 81
10 000 000	0.002 499 9	21.899 1	4.543 64

法是基于对元件状态持续时间的概率分布进行抽样,能够模拟用电信息采集系统在各个时刻的运行状态,可有效计算涉及时间参数的系统风险指标并给出合理的物理解释,故其评估结果更具有适用性。

另外,文中采用枚举法对此采集系统进行三至五阶的状态评估,计算结果如表 5 所示。

表 5 基于枚举法的采集系统可靠性指标
Table 5 Reliability index of acquisition system based on enumeration method

枚举阶数	P	E/h	S
三阶	0.002 478	21.703 1	4.457 80
四阶	0.002 508	21.972 9	4.564 12
五阶	0.002 509	21.980 1	4.568 39

蒙特卡洛法与枚举法评估结果十分接近。但是针对大规模用电信息采集系统,包含众多的采集终端,此时枚举法难以对元件故障逐一考虑,通常只枚举到三阶状态。由表 5 可知,三阶状态评估结果与蒙特卡洛法得出的结果有一定差距,蒙特卡洛法更适合用电信息采集系统的风险评估。

6 结论

文中建立了用电信息采集系统可靠性评估模型,主要由采集终端元件停运模型、多维特征因子关联失效判定模型与蒙特卡洛法组成。进一步提出了用电信息采集系统可靠性评估综合风险指标,涵盖期望阈值相差量、失效频率、失效平均持续时间、失效概率、失效时间期望等。主要结论如下:

(1) 用电信息采集系统中采集元件种类繁多、数目庞大,枚举法难以对元件故障逐一考虑,通常仅能到三阶状态,计算量随着用电信息采集系统规模的增长呈指数关系,计算效率和精度受到影响,蒙特卡洛法评估精度不受采集规模因素影响,其计算量随系统规模的增长近似呈线性关系;

(2) 状态抽样技术与状态转移抽样技术的评估结果接近,表明基于蒙特卡洛法的用电信息采集系统可靠性评估结果具有良好的稳定性,状态转移抽

样技术是基于对元件状态持续时间的概率分布进行抽样,能够模拟用电信息采集系统在各个时刻的运行状态,可以有效地计算出系统的失效持续时间、失效概率等风险指标,更具有适应性;

(3) 以某地区采集系统为对象,研究了失效判定模型的阈值与失效概率的关系,发现二者的关系曲线近似呈现手肘形,此地区采集系统失效判定模型阈值的最优值则是曲线中的拐点处。

本文得到国网江苏省电力有限公司科技项目(SGJS0000YXJS1801124)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 李同智. 灵活互动智能用电的技术内涵及发展方向[J]. 电力系统自动化,2012,36(2):11-17.
LI Tongzhi. Technical implications and development trends of flexible and interactive utilization of intelligent power[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(2):11-17.
- [2] 杨永标,周立秋,丁孝华,等. 智能配用电园区技术集成方案[J]. 电力系统自动化,2012,36(10):74-78.
YANG Yongbiao,ZHOU Liqiu,DING Xiaohua, et al. Technology intergration scheme of smart power distribution and utilization park[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(10):74-78.
- [3] 贾东梨,杨旭升,史常凯. 智能电网对用户用电的影响[J]. 电力建设,2011,32(6):13-17.
JIA Dongli,YANG Xusheng,SHI Changkai. Influence of smart grid on user power utilization[J]. Electric Power Construction,2011,32(6):13-17.
- [4] 孙景钊,杨建华,李琦,等. 智能用电系统与海岛微电网系统交互运行研究[J]. 浙江电力,2019,38(2):22-26.
SUN Jingliao, YANG Jianhua, LI Qi, et al. Research on interactive operation of intelligent electricity consumption system and island microgrid [J]. Zhejiang Electric Power, 2019, 38(2):22-26.
- [5] 曹志刚. 智能配用电园区用户侧双向互动功能的设计与实现[J]. 电力系统自动化,2013,37(9):79-83.
CAO Zhigang. Design and implementation of user interation in smart power distribution and utilization park[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(9):79-83.
- [6] FARHANGI H. The path of the smart grid[J]. IEEE Power and Energy Magazine,2010,8(1):18-28.
- [7] 胡江溢,祝恩国,杜新纲,等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化,2014,38(2):131-135.
HU Jiangyi,ZHU Enguo,DU Xinggang, et al. Application status and development trend of electricity information acquisition system [J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(2):131-135.
- [8] 钱立军,李新家. 用电信息采集系统中数据比对功能的实现及应用[J]. 江苏电机工程,2012,32(2):64-70.
QIAN Lijun, LI Xingjia. Realization and application of data comparison function in electricity information acquisition system [J]. Jiangsu Electrical Engineering,2012,32(2):64-70.
- [9] 李剑鸣,朱玮琪,刘开乐,等. 基于用电信息采集系统对居民用户低电压监测的研究[J]. 电力信息与通信技术,2018,16(2):23-27.
LI Jianming,ZHU Weiqi,LIU Kaile, et al. Research on low voltage monitoring of residential users based on the power user data acquisition system[J]. Electric Power Information and Communication Technology,2018,16(2):23-27.
- [10] 曹永峰,翟峰,肖建红,等. 用电信息采集系统故障运维知识库的设计与应用[J]. 电力信息与通信技术,2018,16(3):81-86.
CAO Yongfeng,ZHAI Feng,XIAO Jianhong, et al. Design and application of fault operation and maintenance knowledge base for electric information collection system [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(3):81-86.
- [11] 顾国栋,周玉,钱立军,等. 用电信息采集系统集抄用户采集成功率提升研究[J]. 江苏电机工程,2013,32(6):29-31.
GU Guodong, ZHOU Yu, QIAN Lijun, et al. Study on improving the success rate of collecting electricity information acquisition system [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(6):29-31.
- [12] 丁恒春,巨汉基,祝恩国,等. 用电信息采集终端可靠性试验研究[J]. 中国测试,2016,42(4):136-139.
DING Henchun, JU Hanji, ZHU Enguo, et al. Experimental study on reliability of electricity information acquisition terminal [J]. China Measurement & Test, 2016, 42(4):136-139.
- [13] 申丽娟,刘宣,刘岩,等. 用电信息采集设备可靠性验证试验[J]. 电测与仪表,2015,52(1):8-12.
SHEN Lijuan, LIU Xuan, LIU Yan, et al. Reliability verification test of electricity information acquisition equipment [J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2015,52(1):8-12.
- [14] 姚慧丽,连春光,白静贤,等. 基于 Monte Carlo 模拟的造船项目投资风险分析框架构建[J]. 江苏科技大学学报,2010,10(4):46-49.
YAO Huili, LIAN Chunguang, BAI Jingxian, et al. Construction of investment risk analysis framework for shipbuilding projects based on Monte Carlo simulation [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology,2010,10(4):46-49.
- [15] 姜鹏飞. 基于蒙特卡洛的污水处理投资风险分析及简化方法[D]. 天津:天津大学,2006.
JIANG Pengfei. Risk analysis and simplified method of sewage treatment investment based on Monte Carlo [D]. Tianjin:Tianjin University,2006.
- [16] 楚明娟. 基于蒙特卡洛序贯仿真的生产模拟算法与应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2017.
CHU Mingjuan. Research on production simulation algorithms and applications based on Monte Carlo sequential simulation [D]. Hefei:Hefei University of Technology,2017.
- [17] 李文沅. 电力系统风险评估模型、方法和应用[M]. 北京:

科学出版社,2006.

LI Wenyuan. Power system risk assessment model, method and application[M]. Beijing: Science Press, 2006.

- [18] LI W Y, ZHOU J Q, LU J P, et al. Incorporating a combined fuzzy and probabilistic load model in power system reliability assessment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22 (3): 1386-1388.
- [19] JIANG K, SINGH C. New models and concepts for power system reliability evaluation including protection system failures[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2011, 26 (4): 1845-1855.
- [20] DING Y, SINGH C, GOEL L, et al. Short-term and medium-

term reliability evaluation for power system with high penetration of wind power [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2014, 5(3): 896-906.

作者简介:



王进

王进(1984),男,硕士,高级工程师,从事电力营销及相关技术管理工作(E-mail: 148304846@qq.com);

钟啸(1996),男,硕士在读,研究方向为电力数据采集及处理;

冯隆基(1981),男,学士,工程师,从事电能计量专业管理工作。

Reliability evaluation model of electricity information acquisition terminal based on Monte Carlo method

WANG Jin¹, ZHONG Xiao², FENG Longji³, CHEN Xiao¹, LIN Ziqi², SUN Qiuqin²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China;

2. College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

3. Nanjing Power Supply Company of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210008, China)

Abstract: The reliability of acquisition terminal is crucial for the safe operation of electricity information acquisition system. In this paper, the reliability evaluation model of the electricity information collection system is established, including the outage model of the acquisition terminal, the multi-dimensional feature factor association failure determination model and the risk assessment method. Sequential Monte Carlo method and non-sequential Monte Carlo method are used to evaluate the risk of the instance, and experimental results demonstrate that sequential Monte Carlo method is more suitable for the risk assessment of electricity acquisition system, since it adopts time sampling technology and can simulate the acquisition system on the time axis. Furthermore, multi-dimensional feature factor correlation model is adopted to judge whether the electricity information acquisition system is invalid and the relationship between the risk index of the electricity information acquisition system and the threshold value in the multi-dimensional characteristic factor correlation model is studied. Then the relationship curve between the risk index and the threshold value is obtained. It can be concluded from the instance that the optimal value of the threshold value is the inflection point in the curve.

Keywords: electricity information acquisition system; reliability evaluation; Monte Carlo method; multi-dimensional feature factor model

(编辑 陈静)