

一种异常电能量数据智能监测和处理方法

畅广辉^{1,2}, 刘涤尘¹, 熊浩¹, 杨东海³

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 河南省电力公司调度通信中心, 河南 郑州 450052;
3. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对电能量计费系统 (TMR) 运行过程中出现的电能量数据异常情况, 提出了一种基于多代理技术的异常数据处理方法。通过对能量管理系统 (EMS) 相应遥测点有功功率的积分, 得到异常数据相关的样本, 利用曲线拟合得到相应的逼近函数式并计算出异常数据对应的 EMS 系统能量积分估计值, 最后, 利用 EMS 系统能量积分估计值计算出 TMR 系统异常数据的近似值。实验证明, 该方法很好地实现了 TMR 系统异常数据的自动处理, 其结果能够满足厂网之间电量结算的需要。

关键词: 电能量计费系统; 能量管理系统; 异常数据; 多代理; 曲线拟合

An intelligent monitoring and processing method for the abnormal electric energy data

CHANG Guang-hui^{1,2}, LIU Di-chen¹, XIONG Hao¹, YANG Dong-hai³

(1. Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450052, China;
3. XJ Electric Co. Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: Aiming at abnormal data circumstance in the process of TMR Operation, a method, which is capable of solving abnormal data based on multi-agent technology, is proposed in this paper. Firstly, by making the integrals of active power of the telemetric point in EMS, samples relevant to abnormal data could be gathered. Secondly, integral estimation corresponding to the abnormal data is about to be computed in EMS by using function approximation gained from samples based on curve fitting. Thirdly, approximate value of the abnormal data in TMR is determined by using the integral estimation from EMS. Some tests show that this method can realize the automatic processing of the abnormal data in TMR perfectly, and the output data could match the demand of electricity settlement between the power plants and power grid.

Key words: TMR; EMS; abnormal data; multi-agent; curve fitting

中图分类号: TM764 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)20-0055-05

0 引言

电力市场环境下, 厂网之间关口电能量数据成为交易双方电量结算的关键。为满足电能量数据及时采集和准确结算的需要, 各网省电力公司均建立了覆盖全网关口点的电能量计费系统 TMR (Tele Meter Reading), 实现了电能量数据的远方自动采集、自动统计计算、自动形成各类分时电量统计表等功能, 为厂网之间的电量结算提供了可靠的手段。

TMR 系统广泛采用生成、传输和计算电能表表底码数据^[1] (带时标的电能表窗口值) 的电能量处理机制, 在数据源头上为厂网之间电量结算数据的准确性提供了技术保障。但在变电站、电厂等强电磁干扰环境下, 电能表表底码数据可能会出现不规则的畸变现象; 此外, 在设备定检或故障的情况下,

也不可避免地会出现数据缺失的情况。对于 TMR 系统这样一个严格要求^[2]数据连续、正确采集和处理的系统来讲, 以上任何一种情况的数据异常都是不可接受的。并且, 随着分时电价和环保节能优惠电价政策的实施, 电量结算工作对电能量计费系统数据连续正确性的要求进一步提高, 迫切需要一种智能、可靠的方法对异常数据予以自动处理。

1 电能量数据处理机制

通常情况下, TMR 系统电量数据处理的方法是: 采集电能表的表底码数据, 通过对相邻两个表底码数据 (通常为一个最小积分周期起始时刻和终止时刻对应的数据, 本文假定最小积分周期为 5 min) 的运算形成最小积分周期电量, 以最小积分周期电量为基础, 形成各种电量统计结果和报表。

最小积分周期电量的计算公式:

$$E_i^{TMR} = (RawValue_{t_i} - RawValue_{t_{i-1}}) \times C_0 \quad (1)$$

其中: $RawValue_{t_i}$ 和 $RawValue_{t_{i-1}}$ 分别为 t_i 、 t_{i-1} 时刻(对应一个最小积分周期时间段)一个关口点的电能表表底码数据; C_0 为该关口点二次电量折算到一次电量的计量倍率, 对于特定的关口点是一个常数; E_i 为关口点 t_{i-1} 时刻到 t_i 时刻一次侧的实际电量。

统计电量 E_s^{TMR} 计算公式:

$$E_s^{TMR} = \sum_{i=1}^n E_i^{TMR} \quad (2)$$

从式(2)可以看出, t_i 或 t_{i-1} 任一时刻的表底码数据出现异常, 都将直接影响到最小积分周期电量 E_i^{TMR} 和统计电量 E_s^{TMR} 的计算。

通常, TMR 系统对该问题的处理方法有以下几种。

1) 系统提供人工录入表底码数据的界面, 由用户输入异常数据的替代值, 系统依据替代值对电量数据进行重计算、重统计处理。

2) 系统自动沿用异常数据前一个时刻的表底码数据, 并据此进行电量计算和统计。

3) 系统自动采用对端替代的方法(前提条件是对端必须装设有相应的电能表, 且电量计量方向正确)自动置入替代值。

4) 系统依据相邻表底码数值采用曲线拟合的方法自动形成表底码异常数据替代值并参与计算和统计。

5) 系统自动通过与能量管理系统(EMS)的接口获得对应关口点的积分电量并参与电量统计。

方法1需要人工的参与, 其正确性完全依赖于人工输入值的正确性, 但用户并没有任何有效的途径获知异常数据的实际值。

方法2、3、4和5减轻了用户人工置数的压力, 但2、3和4都不能反映电量实际变化情况, 虽然能够保证电量计算和统计顺利进行, 但计算结果严重失真, 不能满足结算的需要。方法5能够较好地表征电量的实际变化情况, 但该方法局限于电量结果的替代, 不能实现异常表底码数据的近似估计, 缺乏必要的计算灵活性, 且其电量积分值的精度因EMS系统自身的原因(有功功率 P 的测量精度一般 ≤ 0.5 级, 且遵循越死区传送机制)而偏低。

由以上分析可知, 最大程度正确地估算出异常发生时刻实际的表底码数据是电量正确结算的关键。为此, 本文利用多代理技术构建了基于 TMR 和 EMS 系统的异常表底码数据分布式协作求解环境, 在此基础上, 利用曲线拟合方法, 提高了有功功率积分值的精度从而提高了异常表底码数据计算

结果的精度, 并实现了 TMR 系统异常数据的自动替代和电量的自动处理。实验结果表明, 该方法较之传统处理方法更具有客观性和公正性, 能够满足实际电量结算工作的需要。

2 基于多代理技术的异常数据协作求解

2.1 多代理技术

代理 (Agent) 是对过程运行中的决策或控制任务进行抽象而得到的一种具有主动行为能力的实体^[3], 它可以利用数学计算或规则推理完成特定操作任务, 并通过消息机制与过程对象及其他 Agent 交互以完成信息传递与协调。Agent 的一般特性包括^[4]自治性、自发性、社会能力和反应能力。多 Agent 系统 (MAS, Multi Agent System) 通常用于解决单个 Agent 无法处理的问题^[5]。采用 MAS, 可以方便地求解分布式问题, 且系统具有很强的伸缩性^[6]。

针对多代理技术在电力系统的应用, 文献[7]进行了深入的研究, 总结了该技术的适用范围: ①数据、控制和资源处于分布式环境, 需要协调运作; ②系统中的软件模块相互独立但又相互通信, 需要通过合作或者竞争方式实现某些功能或任务; ③用不同编程语言或者在不同硬件平台上实现系统需要的相互间协作完成的某些功能或任务进而需要将原有的软件进行包装并增加通信功能。并指出多代理技术不仅适用于电力系统分布式计算和设计、电力市场计算和仿真等各个方面, 并可望在与电力系统有关的研究中得到更为广泛的应用。

本文研究的内容是一个典型的资源、任务分布环境下的数值协作求解问题, 因此, 采用多代理技术是一个理想的选择。

2.2 基于多代理技术的异常数据协作求解系统

为了实现 TMR 系统异常表底码数据的分布式协作求解, 本文基于 EMS 和 TMR 系统构建了一个多代理系统, 实现了 TMR 系统异常表底码数据监测、求解、数值替代和统计计算的自动化和智能化。系统框架如图1所示。

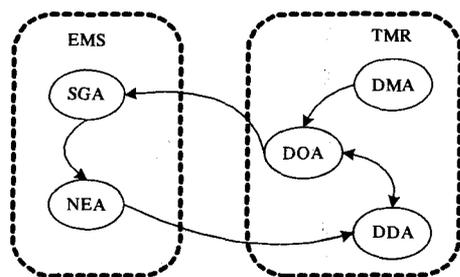


图1 基于多代理技术的系统框架

Fig.1 Framework based on multi-agent technology

系统主要包含了五个 Agent 实体, 分别是分布于 TMR 系统的异常表底码数据监视代理 (DMA)、数据组织代理 (DOA)、数据处理代理 (DDA) 和分布于 EMS 系统的样本数据生成代理 (SGA)、数值估计代理 (NEA)。各 Agent 之间的逻辑关系视图见图 2。

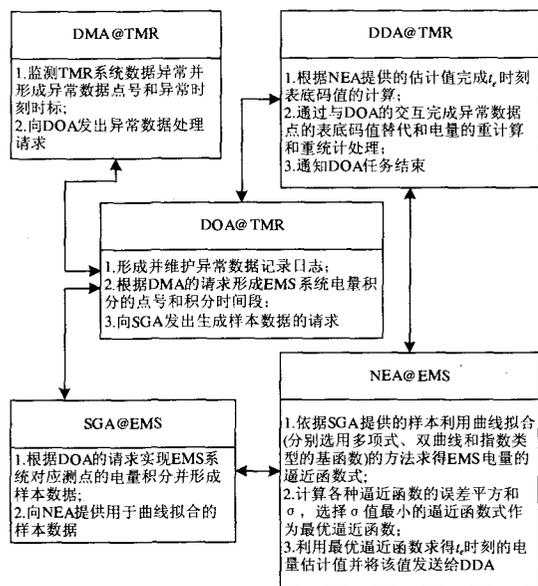


图 2 多代理逻辑关系视图

Fig.2 View of the logical relationship between agents

2.3 各 Agent 功能设计

2.3.1 数据监视代理

数据监视代理 DMA (Data Monitoring Agent), 用于 TMR 系统表底码数据的异常监视, 对于 TMR 系统, 数据异常可分为以下两种情况:

1) 数据畸变

正常情况下, 任一电量关口点的表底码值只能在一定程度范围内单向增加 (数据溢出情况除外), 表底码增加值超出可能的范围可视为数据出现畸变。

表底码增加值 $\Delta_{RawValue}$ 满足式 (3):

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \Delta_{RawValue} \leq \partial_{max} \\ \partial_{max} = \frac{e_{max}}{C_0} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: e_{max} 为一个最小积分周期内一次侧最大理论电量值。

2) 数据缺失的监视

数据缺失有两种情况: ①因通信故障电能表采集终端没有采集到电能表表底码数据; ②因现场设

备故障或检修 TMR 主站未能采集到电能表表底码数据。第一种情况下, 电能表采集终端会产生终端与表计通信中断事件^[8]并对未采集到的表底码数据设置相应的质量状态标记, 对于第二种情况, TMR 主站会对相应的表底码数据置缺数状态标记。

通过检测一个积分周期内表底码的增加值和判断表底码数据质量状态标记可以有效地检测到数据畸变和数据缺失的现象。DMA 自主地实现对所有表底码数据的监视, 当监测到数据畸变或数据缺失情况后, DMA 自动将异常表底码数据对应的点号 (编码) 和异常数据时标 t_e (为方便时间值的处理, 本文所有时间值均以自“1970/01/01 08:00:00”起至当前时刻所经过的绝对秒数表示) 等信息通知到数据组织代理, 并向该代理提交异常数据处理请求。

2.3.2 数据组织代理

数据组织代理 (DOA, Data Organizing Agent) 是完成异常数据协作处理的关键, 当 DOA 收到 DMA 的数据异常处理请求后, 根据异常数据的点号和异常数据的时标, 自动完成 EMS 系统对应遥测点点号及其电量积分时间范围的确定, 并将相应的信息通知到分布于 EMS 系统的样本生成代理。

考虑到 TMR 系统积分周期的特点, 本文确定以异常数据时标 t_e 为中心前后各 15 min 范围的每分钟时刻累计积分电量数据作为曲线拟合的样本。

因此, 以异常数据时标 t_e 为基准, DOA 确定 EMS 电量积分时间范围为 $[t_e - 900, t_e + 900]$, 相应的, 从 $t_e - 900$ 时刻 (假定该时刻对应的积分电量为 0) 开始, 每分钟时刻对应的 EMS 累计积分电量可表示为:

$$E_i \in \{E_{t_e-840}, \dots, E_{t_e}, \dots, E_{t_e+900}\} \quad (4)$$

2.3.3 样本生成代理

样本生成代理 SGA (Sample Generation Agent) 分布于 EMS 平台, 通过与 TMR 平台的 DOA 交互获得 EMS 系统电量积分测点的点号和积分时间范围, 完成 DOA 指定测点的分钟级电能量的数值积分并形成用于曲线拟合的样本。

步骤一: 形成 $[t_e - 900, t_e + 900]$ 期间每分钟的积分电量 e_k 。由于 EMS 系统负荷曲线是按 1 min 周期形成的, 故每分钟的积分电量 e_k 可按照下式近似计算:

$$e_k = \frac{p_k}{60} \times C_0' \quad (5)$$

其中: p_k 为第 k 分钟的 EMS 实测有功功率值; C_0'

为 EMS 系统测量倍率。

步骤二：通过对积分时间范围内每分钟积分电量的累计，形成自积分开始时刻 ($t_e - 900$) 起每分钟时刻对应的累计积分电量值 E_i ，并在此基础上形成样本数据 (E_i, t_i)。其中，

$$E_i = \sum_{k=1}^i e_k, \quad i = 1, 2, \dots, 30 \quad (6)$$

以河南电网陡 221 关口点为例，假定其异常表底码数据时标为 2006/12/30 00:30:00 ($t_e = 1167409800$)，则相应的 EMS 电量积分时间范围为 [1167408900, 1167410700]。SGA 形成的相关样本数据见表 1。

表 1 EMS 系统样本数据

Tab.1 Sample data from EMS

陡 221/MWh					
t_i	E_i	t_i	E_i	t_i	E_i
1	0.9738	11	9.2355	21	22.3216
2	1.9862	12	10.8792	22	22.8417
3	3.4324	13	11.7653	23	23.9147
4	4.3298	14	12.6766	24	24.8754
5	4.9877	15	14.7982	25	26.0185
6	5.8731	16	15.3576	26	27.7538
7	6.3476	17	17.7982	27	28.4392
8	7.0138	18	18.4325	28	29.1451
9	7.9866	19	19.6973	29	30.0765
10	8.5923	20	20.7703	30	30.9954

2.3.4 数值估计代理

SGA 所提供的样本数据存在着因 EMS 系统自身限制造成的误差，因此，需要对样本数据按照线性最小二乘法^[9]法进行曲线拟合处理。

根据 E_i 随 t_i 增加单调不减的特点，数值估计代理 NEA (Numerical Estimation Agent) 按照下式 (7) 所列 4 种函数形式分别完成 SGA 样本数据的曲线拟合，并按照下式 (8) 自动完成对逼近函数拟合精度的评价。

$$f_j(x) = \begin{cases} \sum_{k=0}^j a_k x^k, & j = 1, 2, 3 \\ b_0 + b_1 e^{-x} + b_2 x e^{-x}, & j = 4 \end{cases} \quad (7)$$

拟合精度评价标准：

$$\min \sigma_j = \sum_{i=1}^{30} [f_j^*(t_i) - E_i]^2 \quad (8)$$

根据式 (8) 评价标准，NEA 自动选择拟合精度最高 (σ 最小) 的逼近函数作为 EMS 系统累计

积分电量量 $E(t)$ 的最佳逼近函数式，以此函数式为基础求得 t_e 时刻累计积分电量值的估计值 \hat{E}_{t_e} ，并将该值作为参数通知到 TMR 系统的数据处理代理进行处理。

2.3.5 数据处理代理

数据处理代理 (DDA, Date Disposal Agent) 在得到 NEA 的数据通知后，依据下式计算 TMR 系统异常表底码的近似值 $RawValue_{t_e}$ 。

$$RawValue_{t_e} = \frac{\hat{E}_{t_e}}{C_0} + RawValue_{t_e-900} \quad (9)$$

得到 $RawValue_{t_e}$ 的计算值后，DDA 与 DOA 协作完成 TMR 系统异常表底码数据的入库替代操作，并触发相应关口点电量的重计算、重统计等数据处理。

3 仿真计算

依据表 1 中陡 221 的样本，利用 Matlab 分别求得样本的 4 个逼近函数 $\{f_1^*(x), f_2^*(x), f_3^*(x), f_4^*(x)\}$ 和对应的拟合误差平方和 σ ，从中选择 σ 值最小的函数 $f_3^*(x) = 1.4229 + 0.3859x + 0.0457x^2 - 0.0009x^3$ ($\sigma = 13.1262$) 作为最佳逼近函数，利用该函数得到陡 221 的 \hat{E}_{t_e} 并利用式 (9) 计算的到陡 221 的 $RawValue_{t_e}$ 值为 6569.0781。

同样的，可以计算得到宛 221 和商 221 异常表底码数值分别为 7185.0071 和 8000.1032。三个关口点 t_e 时刻表底码计算值和实际值对比见表 2。

表 2 表底码计算值和实际值对比

Tab.2 Comparison between computational data and real data

关口点	时标	表底码/kWh		相对误差
		实际值	计算值	
陡 221	1167409800	6561.6770	6569.0781	0.11
宛 221	1167413400	7193.9892	7185.0071	-0.12
商 221	1167503400	8012.2020	8000.1032	-0.15

从表 2 可以看出，采用本文方法得到的表底码计算值与实际值相比最大相对误差 $\leq 0.15\%$ ，能够满足实际电量结算的需要。

4 结语

电能量计费系统实际运行过程中，电能表表底码数据异常将直接影响到电量结算工作的准确性和及时性。传统的异常数据处理方法存在较大的缺陷，不能实现异常数据的自动处理，或者处理结果不能满足实际结算工作的需要。本文基于多代理技术，在 TMR 和 EMS 系统之上构建了表底码异常数据自

动智能处理系统, 并利用曲线拟合方法实现了电表底码数值的最优近似计算, 整个处理过程完全由各个 Agent 实体自动智能实现, 无需用户参与。较之传统的处理方法, 本文介绍的方法具有更大的客观性、灵活性, 且其计算结果完全能够满足实际电量结算工作的需要。此外, 该方法对于电能计量装置故障(如失压、断相等)的处理也具有良好的适用性。

参考文献

- [1] 孟碧波, 曾伟民. 建设适应电力市场的电能计费结算系统[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(2): 63-66.
MENG Bi-bo, ZENG Wei-min. Building Energy Billing and Settlement System for Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(2): 63-66.
- [2] 董昕, 杨林, 王继勋. 电能量采集及计费自动化系统设计[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(7): 55-57.
DONG Xin, YANG Lin, WANG Ji-xun. Design and Research on Energy Acquisition and Billing Automatic System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(7): 55-57.
- [3] 盛戈皞, 涂光瑜, 罗毅, 等. 基于多 Agent 的二级电压控制系统[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(5): 20-25.
SHENG Ge-hao, TU Guang-yu, LUO Yi, et al. Study on MAS-Based Secondary Voltage Control System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(5): 20-25.
- [4] 杨旭升, 盛万兴, 王孙安. 多 Agent 电网运行决策支持系统体系结构研究[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 45-49.
YANG Xu-sheng, SHENG Wan-xing, WANG Sun-an. Study on Multi-Agent Architecture Based Decision Support System for Power System Operation[J].

Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(18): 45-49.

- [5] 束洪春, 唐岚, 董俊. 多 Agent 技术在电力系统中的应用展望[J]. 电网技术, 2005, 29(6): 27-30.
SHU Hong-chun, TANG Lan, DONG Jun. A Survey on Application of Multi-agent System in Power System[J]. Power System Technology, 2005, 29(6): 27-30.
- [6] 李晓露, 石东源, 丁振华, 等. EMS 的 MAS 体系结构研究[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(11): 36-40.
LI Xiao-lu, SHI Dong-yuan, DING Zhen-hua, et al. Study on MAS Architecture of EMS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(11): 36-40.
- [7] 刘红进, 袁斌, 戴宏伟, 等. 多代理系统及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(19): 45-52.
LIU Hong-jin, YUAN Bin, DAI Hong-wei, et al. Multi Agent System and Its Application in Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(19): 45-52.
- [8] 郭进, 石俊杰. 《电力系统电能累计量传输配套标准》在电能量计量系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(8): 17-19.
- [9] 颜庆津. 数值分析(修订版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.

收稿日期: 2007-08-21

作者简介:

畅广辉(1976-), 男, 博士研究生, 研究方向为人工智能技术在电力系统中的应用、电力系统调度与控制、电力市场; E-mail: cguanghui2006@126.com

刘涤尘(1953-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电气工程与自动监控;

熊浩(1979-), 男, 博士研究生, 从事人工智能、数据挖掘在电力系统中的应用, 以及高电压与绝缘监测、电磁兼容。

(上接第 46 页 continued from page 46)

- [6] Lebrun J, Vetterli M. Balanced Multiwavelet Theory and Design[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1998, 46(4): 1119-1124.
- [7] Hardin D P, Roach D W. Multiwavelet Pre-filters-1: Orthogonal Pre-filters Preserving Approximation Order $p \leq 2$ [J]. IEEE Trans on Circuits and Digital Signal

Processing, 1998, 45(8): 970-987.

收稿日期: 2007-02-03;

修回日期: 2007-08-09

作者简介:

唐惠玲(1975-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究工业监控和故障诊断。E-mail: huiguit@163.com