

短期尺度的配电网通信业务流量建模方法及开发应用

配电网通信业务流量特性分析与建模是配电网通信管控系统的核心。基于配电网通信业务短期流量模型分析结果, 能够实现对异常流量的辨识和分析, 为网络安全分析提供数据支撑。首先基于配电网通信业务自身特征, 将其分为确定性和非确定性两类; 据此提出了配电网通信业务短期流量模型, 能够根据流量实时监测数据, 对未来走势进行分析预测; 以此为核心构建了配电网通信流量管控系统的功能框架, 并介绍了该系统在某供电局的实际应用效益。

张众发 杨福国 焦 力 刘东东/广东电网有限责任公司云浮供电局



张众发/工程师

0 引言

配电网通信业务流量特性分析与建模是配电网通信管控系统的核心内容^[1]。根据时间尺度不同, 可将配电网通信业务流量建模划分为长期尺度和短期尺度两类。长期尺度的配电网通信业务流量建模其目的在于通信系统规划、建设, 使得通信设备得到合理充分的利用, 满足生产业务使用需要。短期尺度的配电网通信业务流量建模则是通信业务流量监测、异常信号辨识等在线业务的重要支撑^[1]。

围绕短期尺度下的配电网通信流量特性分析与统计建模问题, 学术界和工业界开展了大量研究与实践。文献[2]提出了配电网通信业务断面流量分析方法, 该方法实现了断面流量的计算与统计, 但是由于该方法中所选用的技术路径没有区分长期尺度和短期尺度差别, 在短期尺度通信流量统计上误差较大。文献[3]所提出的一种基于业务断面的智能配用电通信网业务流量计算方法, 主

要面向未来智能配用电网络, 所需要的基础数据目前难以采集应用。文献[4-5]介绍了基于SDN的可编程配电网通信系统, 基于该方法能够提高配电网通信流量的统计采集准确度。文献[6]所提出的基于加权队列的无线智能电网通信网采集数据流量计算方法主要用于无线传输的情况下。文献[7-9]分别介绍了物联网、移动网络的应用情况, 可以发现与配电网相比, 移动网络的流量随机性更强, 这也导致移动网络中的方法在配电网中难以应用。

针对上述问题, 本文立足于短期尺度下的配电网通信业务流量建模方法与开发应用问题, 首先从确定性和不确定性两个维度出发剖析了短期时间尺度下配电网通信业务流量的自身特征。在此基础上, 提出了短期时间尺度的配电网通信业务流量模型, 采用最大熵谱法和分形高斯噪声分别对确定性和不确定性流量进行拟合。以该模型为核心, 提出了配电网通信业务管控系统的功能架构, 并介绍了该系统在某供电局的实际应用开发应用情况。

1 配电网通信流量特性分析

配电网作为电网的末端, 如同人体内的神经末梢, 尽管单点的通信业务信息量较少, 但是由于配电网规模庞大, 因此汇总后其信息量巨大。而配电网通信业务是主网通信业务的向下延伸, 因此在结构上基本与主网通信业务呈现对照关系。

关键词/Keywords

配电网通信 ·
短期特性 ·
流量模型 ·
功能框架 ·

与移动通信网相比，配电网通信业务流量自身特点显著。移动通信业务的流量是由于用户上网或通话等使用需求产生的，由于用户的使用需求是随机的，因此移动通信网的流量具有随机性，也即不确定性^[9-10]。而配电网通信业务中一部分通信业务是时间触发的，会定时产生固定大小的流量，呈现出确定性特征；另一部分通信业务则是事件触发的，当事件发生后才会产生流量传输需求，呈现出不确定特征。

在短期时间尺度范畴，配电网的通信业务内容可视为固定的，因此其传输的业务流量内容也可以视为固定的。据此只需要根据业务内容自身特点，将其流量分类整理，即可以掌握配电网通信业务的全局性规律。

根据当前我国配电网通信业务的特征，本文整理了配电网通信业务中各业务流量的基本特征，如下表所示。配电网通信业务主要涉及“三遥”业务、分布式馈线自动化和电能质量监测等七大类。其中，“三遥”业务、分布式馈线自动化、电能质量监测和地区电源状态监测四类业务均为时间触发方式，每隔一定时间即会发送业务需求，且传输的业务流量大小一般为固定值，因此这一类业务为确定性业务。地区电源控制信息、配电网保护信息和故障定位信息则是由实际业务需要随机发起，属于不确定性业务。

表 配电网通信业务流量特征

序号	业务名称	终端流量/(Kbit/s)	特征
1	“三遥”业务	20~25	确定
2	分布式馈线自动化	20	确定
3	电能质量监测	24	确定
4	地区电源状态监测	2	确定
5	地区电源控制信息	1	不确定
6	配电网保护信息	64~100	不确定
7	故障定位信息	9.6	不确定

1.1 确定性业务流量特征

确定性业务流量具有两个方面特征：①按照固定的时间间隔触发，有确定的传输周期；②每次传输的数据包大小为固定值，有确定的传输流量。

上述两方面特征启示，对于确定性业务流量的建模可以首先统计配电网通信业务中所涉及的确定性业务数量和传输周期，据此通过确定性函数表示。

1.2 不确定性业务流量特征

与确定性业务流量相比，不确定性业务流量的特征表现在：

1) 事件触发。从时间尺度来看，单个不确定性业务的流量出现时刻没有明确的规律，但是从其持续时间来看，一旦发生则有明确的传输时长。

2) 流量大小确定。尽管不确定性业务流量在时间上没有确定性规律，但是传输流量一般是确定的。

不确定性业务流量的上述两方面特征启示：在对不确定性业务流量建模时，可以通过对历史数据滤波获取不同类型的不确定性业务流量函数，并将其以随机变量的形式表示。

2 短期尺度下配电网通信业务流量建模

2.1 建模流程

本文所提出的短时间尺度下配电网通信业务流量建模方法，其实施步骤如图1所示。整个实施流程包括确定性业务流量建模、不确定性业务流量建模和配电网通信业务流量表出三个阶段。

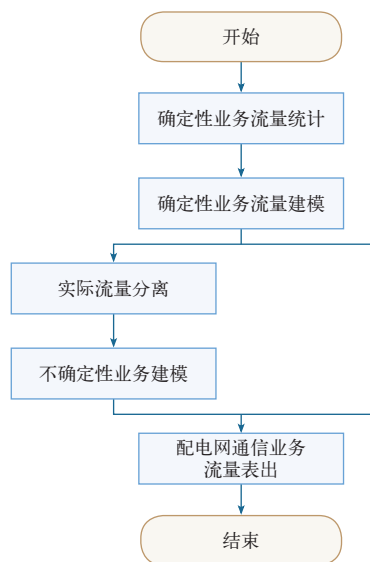


图1 建模流程

2.2 确定性业务流量建模

确定性业务流量的时间周期性和大小固定性特征,使得能够通过确定性的函数将不同的业务流量表示出来。本文中假设某配电网存在 N^{Cer} 个确定性通信业务,第 i 个通信业务的流量函数 X_i 可表示为

$$X_i(t) = f_i(t + T_i) \quad (1)$$

式中, $f_i(t)$ 为一个周期内该通信业务的流量函数; T_i 为该业务的周期。

以该通信业务 i 在时刻 t_0 为起点,规定其他业务 j 相对于该通信业务存在时间偏移 T_{ij} ,则整个配电网的确定性通信业务 $X^{\text{Cer}}(t)$ 可表示为

$$X^{\text{Cer}}(t) = F^{\text{Cer}}(t + T^{\text{Cer}}) \quad (2)$$

式中, $F^{\text{Cer}}(t + T^{\text{Cer}})$ 为配电网确定性通信业务的流量函数; T^{Cer} 为其周期。

该周期等于所有确定性通信业务周期的最小公倍数,且满足

$$F^{\text{Cer}}(t + T^{\text{Cer}}) = \sum_{j=1}^{N^{\text{Cer}}} f_j(t + T_{ij} + T^{\text{Cer}}) \quad (3)$$

式中,当 $j=i$ 时,满足 $T_{ii}=0$ 。

需要特别注意,由于 T^{Cer} 是所有确定性业务流量周期的最小公倍数,所以也是所有确定性业务流量周期。

可采用最小二乘法拟合确定实际的通信业务时间偏移。具体实施流程为:选取配电网通信业务中未发生不确定性业务的时段范围,且该时段范围要大于 T^{Cer} ,记为 $X^{\text{Cer},R}(t)$ 。对其抽样,抽样时间间隔 T_c 满足 $T_c T^{\text{Cer}} \leq 1$,从而得到实际流量的抽样函数 $F_c^{\text{Cer}}(t)$ 。对抽样函数 $F_c^{\text{Cer}}(t)$ 和流量函数 $F^{\text{Cer}}(t + T^{\text{Cer}})$ 用最小二乘法拟合,即可以得到各业务的偏移时间 T_{ij} 。由于该方法为信号分析常用方法,这里不再赘述其实施过程。

2.3 不确定性业务流量建模

不确定性业务流量具有发生时刻不确定,流量大小确定两方面特征。为此在流量函数中增加状态变量来确定该业务是否发生的随机事件。

规定某不确定性业务 i 在发生后将产生流量函数 $g_i(t)$,并规定 $\gamma_i(t)$ 为时刻 t 时该不确定性通信业务

是否发生的状态函数,则该不确定性业务流量可表示为 $\gamma_i(t)g_i(t)$ 。

不确定性业务的流量函数可通过如下方法获得。在确定发生了不确定性业务 i 后,统计该时段范围内实际通信业务流量 $X_i^{\text{NCer},R}(t)$ 。对其抽样,抽样时间间隔 T_c 满足 $T_c T^{\text{Cer}} \leq 1$,得到抽样函数 $F_{i,C}^{\text{NCer}}(t)$ 。则该不确定性业务的流量函数可表示为

$$g_i(t) = F_{i,C}^{\text{NCer}}(t) - F^{\text{Cer}}(t + T^{\text{Cer}}) \quad (4)$$

则配电网中不确定性通信业务流量 $X^{\text{NCer}}(t)$ 可表示为

$$X^{\text{NCer}}(t) = \sum_{i=1}^{N^{\text{NCer}}} \gamma_i(t)g_i(t) \quad (5)$$

式中, N^{NCer} 为配电网通信业务中所有不确定性通信业务的数量。

2.4 配电网通信业务流量建模

将上述确定性和不确定性配电网通信业务汇总,即可以得到配电网通信业务流量模型 $X(t)$,可表示为

$$X(t) = X^{\text{Cer}}(t) + X^{\text{NCer}}(t) \quad (6)$$

式中,由于 $X^{\text{NCer}}(t)$ 含有状态变量,因此配电网通信业务流量函数从数学模型上为随机变量函数。

需要特别说明的是,上述模型实际上假定了配电网中通信业务内容是已知确定的,因此只适用于短期时间尺度分析。从长期来看,由于配电网中通信业务处于变化发展过程,上述模型需要不断更新完善。

3 开发应用

3.1 功能架构

配电网通信业务流量建模是配电网通信管控系统的核心,支撑了流量分析、异常辨识和信息挖掘等高级应用。

本文所提出的配电网通信管控系统其功能架构如图2所示,包括流量跟踪统计、流量数据分析和高级应用三个层面的功能体系。

流量跟踪统计是系统的基础,通过在通信关口按照监测装置,能够跟踪统计各时刻的关口流量。流量数据分析是根据采样得到的各关口流量



图2 功能架构

采样函数，剔除明显异常的数据。高级应用中流量建模是所有数据分析的基础，支撑三方面的主要功能，分别是异常数据辨识、事件告警和通道异常分析。异常数据辨识是通过将实际采样数据和模型对比，发现通信流量异常情况；事件告警是通过辨识发生的不确定性业务，及时定位其发生位置和时间等关键信息；通道异常分析是通过滤波得到通道噪声，从而发现通道异常区间，保证通道稳定运行。

3.2 开发部署与实施效益

本文所提出的配电网通信管控系统已在某供电局得到实际应用。其系统部署架构如图3所示，流量监测点不仅需要覆盖配电网中各业务的通信关口，还需要覆盖与主干通信网的关口^[11-12]。

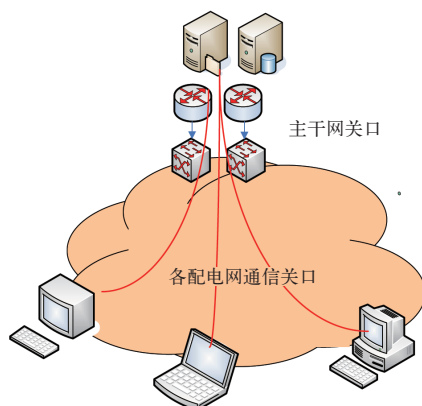


图3 系统架构

在该供电局部署实施两年以来，该系统取得了多方面的实施效益，主要体现在：

1) 提升了配电网通信业务异常分析能力。基于流量建模对流量异常信息进行实时辨识，是系统的主要高级应用功能之一，实施两年来成功

处置了通信业务数据异常10次，确保了业务的正常运转。

2) 提升了配电网通道设备异常的处置能力。基于流量建模能够对通道噪声进行分析，对噪声源的排查实际上就是对通道设备的故障诊断依据，在实施两年时间排查通道异常八处，确保了通信中断指标达到生产标准要求。

3) 提升了配电网通信业务流量数据的挖掘能力。实施两年，通过对配电网通信业务流量模型的深入分析，形成了流量大数据库，掌握了不同业务的流量特性，实际上支撑了通信业务流量数据的深度挖掘和分析工作。

4 结束语

本文深入分析了配电网通信业务流量特征，结合确定性和不确定性业务的自身特点，提出了配电网通信业务流量模型，并基于该模型提出了配电网通信业务管控系统的功能架构和系统部署架构。基于我国某地区供电局两年的实际应用，证明了该系统和模型的有效性，能够大幅提升配电网通信的安全管理水平，并且为通信大数据奠定基础。

参考文献

- [1] 包达志. 配电网通信运行支撑系统关键集成技术[J]. 广东电力, 2016, 29(11): 75-80.
- [2] 何清素, 曾令康, 欧清海, 等. 配电通信网业务断面流量分析方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(23): 91-95.
- [3] 赵子岩, 胡浩. 一种基于业务断面的智能配用电通信网业务流量计算方法[J]. 电网技术, 2011, 35(11): 12-17.
- [4] 张京娜, 刘柱. 基于SDN的可编程配电网通信系统关键技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(5): 51-56.
- [5] 李巍, 李丽辉, 李佳, 等. 远控型木马通信三阶段流量行为特征分析[J]. 信息安全, 2015, 21(5): 10-15.

(下转第61页)

载平衡与否, 变压器的空载损耗不变, 但变压器的负载损耗会发生较大的变化。调整变压器相间的不平衡负载, 则降低相间负载不平衡度, 从而可以有效地降低变压器的损耗。

3) 在总负荷不变的情况下, 由于不同相负荷不同引起的相间不平衡度, 变压器的损耗也不同。同一不平衡度, 变压器的损耗值有多个, 并且其中有最大值和最小值, 三相平衡时最大值和最小值相等。当较小不平衡度对应变压器损耗最大值大于较大不平衡度对应变压器损耗的最小值, 这时就会使变压器损耗曲线下降。调整不平衡度即可以一定程度上降低配电变压器损耗。

4) Y- Δ 和Y-Y对比分析: 从数据中可以看出, 在三相不平衡时, 配电变压器Y- Δ 接法比配电变压器Y-y0接法来得更稳定。

对此, 应加强对配电变压器三相负荷的监控, 及时调整负荷, 使三相负荷尽量保持平衡。

因此, 在电网运行中, 应该经常测量三相负荷, 并进行调整, 使之平衡, 将会节能降损、提高电压质量及产生一定的经济效益。

参考文献

- [1] 陈磊, 胡晓菁, 史红辉. 配电变压器三相不平衡解决方案及控制策略 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2016, 37 (3): 95-99.
- [2] 赵晋泉, 刘绪, 林昌年, 等. 单相光伏大量接入的三相不平衡配电网无功优化 [J]. 电力系统自动

化, 2016, 40 (13): 13-18.

- [3] 李萍. 配电变压器三相负荷不平衡对低压线损率的影响 [J]. 黑龙江科技信息, 2009 (29): 62-62.
- [4] 梁志祥. 如何减少配电网三相不平衡运行的配网线损 [J]. 建材技术与应用, 2008 (1): 18-19.
- [5] 罗昭波. 配电变压器三相平衡与无功自动补偿 [J]. 农村电气化, 2007 (7): 52-53.
- [6] 梅岭芳. 配电网的三相平衡 [J]. 工业加热, 2007, 36 (5): 62-63.
- [7] 叶伟杰. 江西电网配电变压器三相不平衡综合治理措施研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- [8] 卢永辉. 供配电系统电压三相不平衡问题探讨 [J]. 科技展望, 2015 (5).
- [9] 周恒逸, 齐飞, 毛柳明, 等. 基于SVG调节配电变压器三相不平衡电流的应用研究 [J]. 高压电器, 2016 (5): 48-53.
- [10] 杨云龙, 王凤清. 配电变压器三相不平衡运行带来的附加损耗、电压偏差及补偿方法 [J]. 电网技术, 2004, 28 (8): 73-76.
- [11] 张鹏, 罗建, 吉畅, 等. 低压配电网三相不平衡负载参数的辨识方法研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2015 (24): 90-95.
- [12] 徐辉. 配电变压器三相负荷不平衡对变压器损耗影响的仿真实验研究 [J]. 华东科技, 2014 (12): 280-281.

(收稿日期: 2017-01-14) **EA**

(上接第48页)

- [6] 邵苏杰, 郭少勇, 邱雪松, 等. 基于加权队列的无线智能电网通信网采集数据流量调度算法 [J]. 电子与信息学报, 2014, 36 (5): 1209-1214.
- [7] 钟士元, 郑蜀江, 李映雪, 等. 基于物联网技术的配电网线路动态增容方法研究 [J]. 电子技术与软件工程, 2015, 10 (21): 34.
- [8] 褚格林. 通信运营商客户流量业务使用行为意向实证研究 [J]. 系统工程, 2014, 32 (8): 117-126.
- [9] 叶春明, 单洪, 马涛, 等. 面向战场通信业务的

网络流量建模与仿真 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26 (7): 1527-1534.

- [10] 何高峰, 杨明, 罗军舟, 等. Tor匿名通信流量在线识别方法 [J]. 软件学报, 2013, 24 (3): 540-556.
- [11] 张岚, 高鹏, 王澄. 南方电网配电网自动化通信系统的建设 [J]. 电力系统通信, 2010, 31 (11): 20-24.
- [12] 钟元高. 配电网通信系统方案研究 [J]. 电力系统通信, 2008, 29 (12): 42-44.

(收稿日期: 2017-09-17) **EA**