基于分布式状态估计技术在变电站布控球实时数据分析

唐 标[1]，李 博[1]，刘斯扬[1]，朱梦梦[1]，秦雄鹏[2]，李 婷[3]

（1. 云南电网有限责任公司电力科学研究院，云南 昆明 650217；2. 云南电力技术有限责任公司，云南 昆明 650217；3. 昆明能讯科技有限责任公司，云南 昆明 650217）

摘要：变电站智能化的发展提高了变电站容灾和自愈能力，但是也给变电站设备和环境数据状态的监测带来了一定挑战。为此基于分布式状态估计的变电站布控球数据实时分析进行了系统设计。首先分析了变电站内传统状态估计模式和分布式状态估计模式的差异，说明了智能变电站监控系统的数据需求。其次提出了基于分布式状态估计的变电站布控球数据分析和展示系统，并对系统硬件、功能应用和软件构架进行了分析。最后针对结构化数据以及非结构化数据的应用进行了分析。

关键词：分布式状态估计；智能变电站；实时数据；布控技术

Real-time data analysis of control ball deployment in substation based on distributed state estimation

TANG Biao[1], LI Bo[1], LIU Siyang[1], ZHU Mengmeng[1], QIN Xiongpeng[2], LI Ting[3]

(1. Electric Power Research Institute, Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650217, China; 2. Yunnan Electric Power Technology Co., Ltd., Kunming 650217, China; 3. Kunming Enersun Technology Co., Ltd., Kunming 650217, China)

Abstract: The development of substation intelligence has improved the disaster tolerance and self-healing capabilities of substations, but it has also brought certain challenges to the monitoring of substation equipment and environmental data status. A system for real-time analysis of substation control ball data is Designed based on distributed state estimation. First, the difference between the traditional state estimation mode and the distributed state estimation mode in the substation is analyzed, and the data requirements of the intelligent substation monitoring system are explained. A data analysis and display system for substation deployment and control ball based on distributed state estimation is proposed. The system hardware, functional applications and software architecture are analyzed. Finally, the application of structured data and unstructured data is introduced.

Key words: distributed state estimation; smart substation; real-time data; control deployment technology

0 引言

随着变电站数字化和智能化的发展，变电站内设备上传的信息逐渐增多，例如综合自动化系统、PMU和保护等信息都会上传多样化的数据，智能的一次设备在线监测信息也逐渐增多，如果这些海量信息全部实时传输至调度中心，则会给调度中心带来巨大的数字压力。针对变电站布置的布控球采集到的信息，发挥变

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

电站本地信息冗余性和本地决策的灵敏性，可以实现信息分层分布式处理，通过布控球的信息提高变电站电网运行维护服务能力。

针对分布式状态估计在智能变电站中的应用已有一定研究，文献[1]对面向智能运检管理的变电站三维实时监测展示系统进行了开发。文献[2]提出了一种运行变电站增加告警直传和远程浏览功能的实现方法。文献[3]提出了分布式变电站动态状态估计。文献[4]设计了适应两级分布式智能调度控制的变电站高级应用软件。文献[5]说明了分布式状态估计技术在智能变电站的应用。文献[6]针对华东电网两级分布式状态估计试点建设进行了分析。文献[7]分析了变电站调度中心两级分布式状态估计。以上文献对分布式状态估计的研究虽然较为成熟，但是没有与变电站布控数据分析系统相结合。

本文针对分布式状态估计技术在变电站布控系统中实时数据的分析进行了研究。首先分析了传统状态估计以及分布式状态估计的差异，针对智能变电站的监控系统，说明了其结构以及布控技术在变电站的应用。然后针对分布式状态估计的布控球数据展示提出了相应系统，分析了系统硬件、软件架构，并结合具体应用对分布式状态估计的软件体系进行了分析。最后结合分布式状态估计技术在实施数据分析中的应用，提出了结构化和非结构化数据的存储和上传方式，说明了分布式状态估计技术在变电站中数据业务方面的应用。

1 智能变电站分布式状态估计

1.1 传统状态估计

传统状态估计是采用集中式结构，数据中心负责对系统数据的收集管理。RTU将终端数据进行上传。在调度中心对数据进行进一步的分析与处理，实现状态估计。

传统的状态估计模式无法从根本上解决变电站内部基础数据的误差问题，拓扑变化、非线性迭代发散、网络模型以及设备模型维护变更均导致RTU上传的数据产生误差，直接影响到变电站内设备状态以及电力系统整个网络的估计结果。传统电网状态估计的信息过于集中于调度中心，设备参数、静态拓扑和接线图等均需在调度中心完成，容易将重要信息淹没在庞大的电网模型信息中；调度中心在信息的局部冗余性不足，受传输速率以及信息传输和存储的限制，调度中心进行状态估计时的效率和准确率均不能满足现代电力系统的运行要求。

1.2 分布式状态估计

分布式状态估计是指将传统集中式状态估计改变为变电站、调度中心两级状态估计。由于变电站中的信息含量较为集中，因此冗余度较大，能够为状态估计提供更有效的信息，使数据处理和上传更加高效，从而解决传统状态估计数据准确度不高、误差较大的问题。

（1）设备状态

对变电站进行分布式状态估计，首先需要电气参数库以及遥信信息确定的电气拓扑状态，将网络物理模型转变为数学模型，对电气参数、电气元件进行物理化识别，通过拓扑着色对网络基本缺陷进行进一步明确，实现基本可视化展示。

通过模型库对设备的物理实体进行建模，根据上一步得到的网络拓扑结构，结合物理实际状态以及设备运行检修方案，对设备模型库进行标识，确定设备运行以及带电状态。

（2）通信状态

变电站自动化监控系统能够根据SCADA信息数据对系统运行状态进行识别。当测控与保护装置出现通信故障时，站控层收到的数据与间隔层所发送的数据存在差异，通过后台辅助控制系统进行对比，得到系统中差异的变量，根据差异变量对通信装置的状态进行识别，分析可能影响调度结果的状态估计值，同时对坏数据进行剔除，将设备运行状态以及通信装置状态上传至调度中心进行进一步分析。基于分布式状态估计的变电站布控数据分析能够实现

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对通信装置的状态辨识，形成相应的状态估计结果，并且形成历史库，通过对异常数据的及时有效过滤，显著降低网络通信状态异常带来的整体系统状态估计错误。

（3）状态估计信息采集及接入

分布式状态估计主要利用IEC 61850协议实现变电站内整体测控数据的一体化展示和采集。分布式状态估计如图1所示。智能变电站状态估计服务器按照该标准与故障滤波器、PMU装置建立通信关系；变电站一体化平台能够实现监控系统对分布式状态估计器的单向同步分布式状态估计，其通过通信服务器进一步与调度中心数据网进行通信，该通信接口可以利用IEC 104进行扩展。

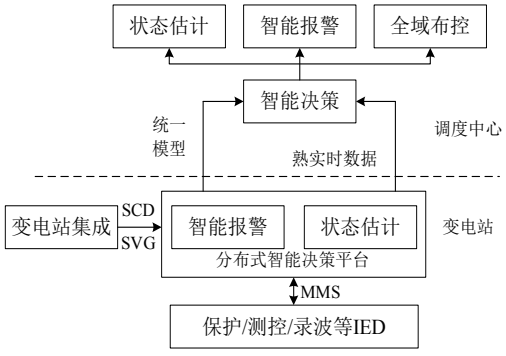


图 1　分布式状态估计

Fig. 1 Distributed state estimate

1.3　智能变电站监控系统

智能变电站监控测量系统主要包括在线数据监测模块、SCADA模块、智能巡检模块、环境监测模块和视频监测模块等。智能变电站通过各项模块的动态监测、布控方案的优化实现对变电站整体运行状态的感知，通过终端采集到的信号将数据上传至接口服务器、3D服务器，再通过通信网络传输至图形工作站，从而对智能变电站无人值守进一步感知。变电站智能监控如图2所示。

布控在变电站内部主要包括传感器、摄像头和红外成像设备等。在线监测数据的仪器主要包括避雷器在线监测仪、热红外成像测温仪、变压器油色谱在线监测仪和开关柜测温仪

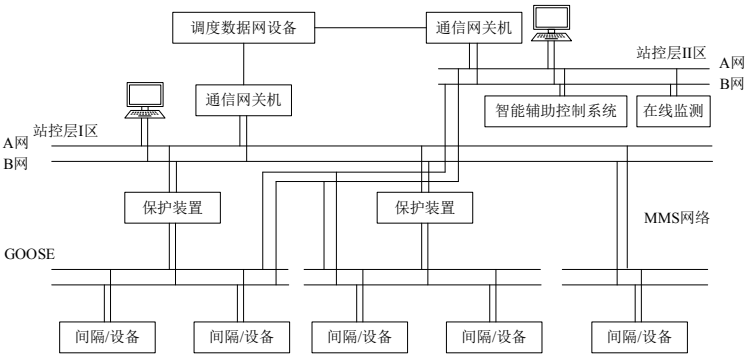


图 2　变电站智能监控

Fig. 2 Smart monitoring system

等。SCADA数据量测主要包括电压、电流和功率数据的量测仪器。机器人巡检包括热红外图像成像系统以及可见光头像成像系统涉及到的仪器环境数据监测，主要针对变电站内运行工况环境的监测，包括温度、湿度和烟雾等视频数据监测等。

2　基于分布式状态估计的变电站布控球数据展示系统

2.1　系统硬件

变电站采用分布式状态估计后，从逻辑结构上看，变电站的硬件配置由主备数据应用服务器组成，通过网卡分别与综合自动化服务器、PMU服务器连接。系统硬件如图3所示。

2.2　功能应用

子站系统围绕历史数据库和测试数据库构建了相应的功能，包括与综合自动化服务器、PMU实时通信的接口，实现了与二者的数据交换，数据最终能够进入测试数据库和商用数据库。通过采用数据上传和变电站分布式状态估计的方式，实现了数据库之间的关联。核心模块包括状态估计、拓扑检错和坏数据识别等；状态估计的相关数据和结果可以通过可视化和3D展示。其功能应用如图4所示。

2.3　软件构架

变电站的分布式状态估计与变电站一体化系统嵌入式开发，通过变电站中估计获得计算

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

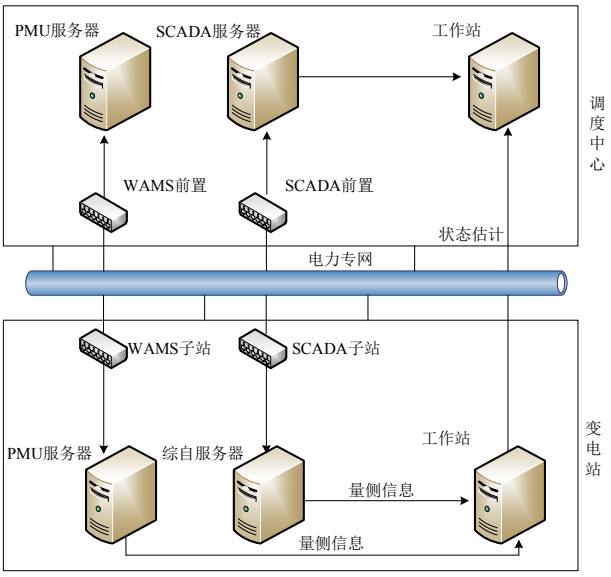


图 3　系统硬件

Fig. 3 System hardware

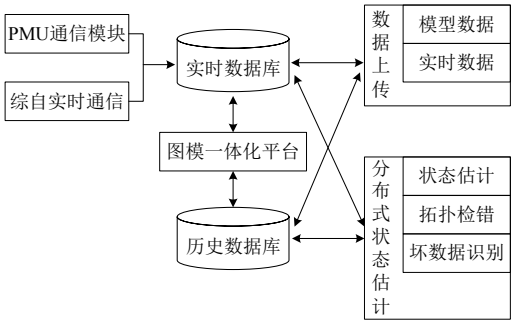


图 4　功能应用

Fig. 4 System function

机模型和图形数据，建立状态估计模型。实时获得的测控和PMU两侧信息进行实时状态评估计算，将计算结果显示给变电站用户，同时上传至上级系统。该软件架构能够实现与一体化数据平台对接、与上级系统对接。对于出线、母线、断路器和隔离开关等均可以进行模拟量和数字量的配置量测。该软件架构能够运用图像、图表等多种手段进行结构展示，形成良好的人机交互界面。系统软件构架如图5所示。

3　实时数据分析

3.1　结构化数据应用

结构化数据在不同系统之间的传输较为便捷，这是由于数据一般采用XML格式存储，实现了扩展性以及兼容性，因而在数据数值、数据采样和数据录入等方面更具有优势。图6为结构化测试数据的样例。

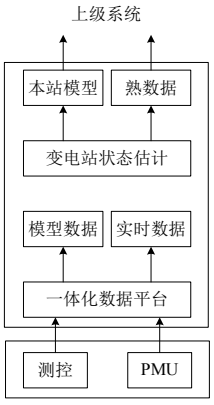


图 5　系统软件构架

Fig. 5 System software

```
<TEST version="2.0">
        <DeviceInfo desc="一次设备监控信息">
        <StationName>XXX变电站</StationName>
        <Level desc="电压等级">220kV</Level>
        ……
        <DeviceCode desc="编码">#12FF</DeviceCode>
    </DeviceInfo>
    <IED channelNum="2" desc="局放带电检测装置"
vendor="XXXX" model="JFD-2000">
    ……
    </IED>
    <TestValue>
        <Channel chNo="1" sensorType="HFCT">
            <Do name="AppDsch" desc="视在放电量">
                <Val>12</Val>
                <t>2020-03-22 16:165:00.123</t>
            </Do>
        </Channel>
        ……
    </TestValue>
    …
</TEST>
```

图 6　结构化数据应用

Fig. 6 Structured data application

3.2　非结构化数据应用

非结构化数据主要包括图像和视频等，这类数据需要对内容进行规范化转化，通过对特征的提取，得到相应的规范化数据。

非结构化的数据源主要来源于布控于变电站的实时布控系统、设备状态检测系统和设备状态估计启动。非结构化的数据源来源广泛，

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由于目前变电站实现了智能化布控，智能化布控产生的视频图像均可以作为数据源上传至相应的设备和存储器。非结构化数据在进行描述时，需要与结构化数据进行匹配，实现非结构化数据的结构化描述。即将图像、视频按照元素提取关键点，得到SIFT描述符，与字典库中的符号查询对比形成视觉单词，最终生成频率直方图，能够在频率上对非结构化数据给予表达。通过系数编码原理，将非结构化数据进行编码，实现关键特征区域和特征的提取，从而实现对视频和图像等不易直接分辨数据特征的数据进行识别，标注数据变化检测、数据细化分割，主要涉及到开关变量以及变压器、GIS等设备的变化情况。在非结构化数据的数据源获取过程中，需要对比电力设备状态图谱库，主要由非结构化数据完成。目前布置在变电站的布控球能够采集自然光图像以及红外、紫外光等有色光，由于这两类图像的光谱成像原理不同，得到的频率分布直方图也不尽相同，根据电力设备的静态、动态特性，能够提取相应光条件下的尺度、旋转和光照等局部特征点，实现非结构化图谱数据向结构化数据的转化。

为了便于非结构化数据存储，应将可转化数据转为结构化数据，再利用XML格式存储；对不可转化的数据，直接进行存储，但同时在对应的词条中进行标记，便于后期查询与调用。

4 结束语

本文针对分布式状态估计技术在变电站布控系统中实时数据的分析进行了研究。首先分析了传统状态估计以及分布式状态估计的差异，针对智能变电站的监控系统，说明了其结构以及布控技术在变电站的应用。然后针对分布式状态估计的布控球数据展示提出了相应系统，分析了系统硬件、软件架构，并结合具体应用对分布式状态估计的软件体系进行了分析。最后结合分布式状态估计技术在实施数据分析中的应用，提出了结构化和非结构化数据的存储和上传方式，说明了分布式状态估计技术在变电站中数据业务方面的应用。

参考文献

[1] 周元强，陈刚，费益军，等．面向智能运检管理的变电站三维实时监测展示系统开发与应用[J]．电网与清洁能源，2018，34(12)：41-47．

[2] 李永照，茹东武，陈哲，等．运行变电站增加告警直传和远程浏览功能的实现方法[J]．电力系统保护与控制，2017，45(17)：112-117．

[3] 陈亮，蒋群，赵思涵，等．分布式变电站动态状态估计[J]．电力科学与工程，2016，32(5)：25-31．

[4] 孙宏斌，牟佳男，盛同天，等．适应两级分布式智能调度控制的变电站高级应用软件[J]．电力系统自动化，2015，39(1)：233-240．

[5] 田江，钱科军，梁锋．分布式状态估计技术在智能变电站的应用[J]．电网与清洁能源，2013，29(9)：27-31．

[6] 屈刚，葛敏辉，汪德星，等．华东电网两级分布式状态估计试点建设及运行分析[J]．华东电力，2012，40(4)：626-628．

[7] 李青芯，孙宏斌，王晶，等．变电站—调度中心两级分布式状态估计[J]．电力系统自动化，2012，36(7)：44-50，91．

作者简介



唐 标

唐标（1985－），男，硕士，高级工程师，二级助理专家，主要研究方向为热工仪表计量及计量基础、电力设备物联网技术应用 。

(收稿日期：2019－09－26)EA

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net