

异步传输的分布式铁路 10 kV 电力监控系统

屈志坚^{1,2}, 蒋士林², 王 健^{1,2}, 陈剑云², 陈秋琳³

(1. 北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044;

2. 华东交通大学 电气工程学院, 江西 南昌 330013;

3. 北京太格时代自动化系统设备有限公司, 北京 100054)

摘要: 为解决提速铁路 10 kV 电力系统运行参数变化快、海量实时数据传输和处理困难的问题, 设计研发了实时异步传输的电力远动监控系统。对铁路 10 kV 电力系统的运行、录波数据的远程传输和海量实时数据的处理进行了分析设计。提出了利用发布/订阅原理进行异步数据传输的模式, 考虑到实时数据点多、变化快的特点, 建立了实时数据交换的二级缓存机制, 保证了信息完整性, 避免了重要信息的丢失。所设计的监控系统运行稳定、可靠, 实时处理效果较好。

关键词: 铁路 10 kV 电力系统; 监控; 海量数据处理; 发布/订阅模型; 二级缓存机制

中图分类号: TM 73; U 224

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)02-0129-05

高速铁路的信号管理采用自动化闭塞和联锁装置后, 其供电电源, 即铁路 10 kV 电力系统就成为高速列车安全开行的关键。

高速铁路运行具有 2 个基本特征: 其一是行车密度增加, 正常运行时电压、电流数据波动异常频繁, 导致自动化系统的实时数据处理量较大^[1]; 其二是铁路电力系统作为行车信号指示灯的供电电源, 属一级负荷, 其 10 kV 高压侧由电力专业维护^[2-3], 而 380/220 V 低压侧由信号专业维护, 在信号供电故障时, 为更好地界定事故责任, 有必要对故障进行精确录波, 通过录波远程传输技术^[4-5], 在调度中心进行集中处理, 因此对提速铁路电力系统中海量实时数据的完整性和故障数据的精确性提出了更高要求。

1 铁路电力系统的分布监控结构

如图 1 所示, 铁路电力监控系统由地域分布的测控终端装置、通信接口设备和远程调度系统^[6]构成。其中, 测控终端装置完成实时运行参数的测控和录波数据远程传输等功能; 通信接口设备完成测控终端、配电所远方终端与远程调度主站监控系统的通信信道连接和报文传输服务; 监控主站系统是调度控制和指挥中心^[7], 完成电气量实时数据存储和显示处理, 并提供故障自动报警提示和远方控制等功能。

当运行故障发生时, 测控装置立即将故障信息进行分级存储和处理, 并将故障信息通过通信报文形式实时传送到监控主站, 由主站系统进行故障自动

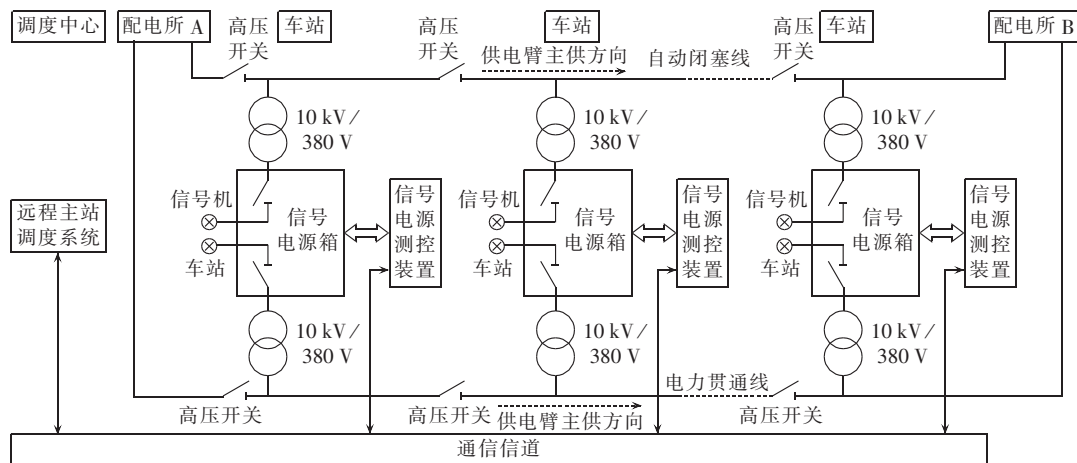


图 1 铁路电力监控系统结构

Fig.1 Structure of SCADA system for railway power supply

收稿日期: 2010-06-17; 修回日期: 2010-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51007023); 江西省教育厅(青年)科技基金项目(GJJ09223, GJJ10138); 江西省自然科学基金项目(2009GZS0016); 华东交通大学科研基金项目(09DQ08)

报警提示,供调度员进行远方集中调度决策和控制。

2 测控终端装置

2.1 测控终端装置的构成

测控终端装置由测控单元、开关电源、蓄电池、通信接口以及电源切换装置等构成,并通过信号电源箱实现电压/电流测量、开关采集和控制执行,其核心模块是测控单元,结构如图 2 所示。

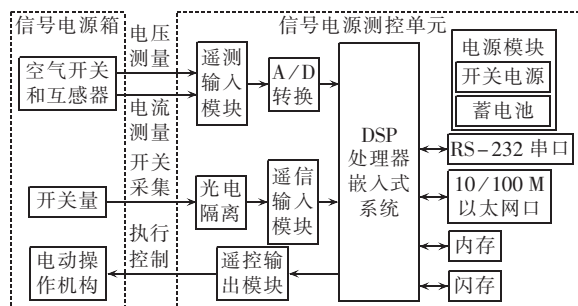


图 2 测控终端结构

Fig.2 Structure of measuring and control terminal

测控终端装置的测量对象包括自闭线和贯通线高、低压侧的三相交流电量,即三相电压、三相电流、有功功率、无功功率、功率因数、频率和相序以及开关的分/合状态等,采用 A/D 转换、光电隔离和数字信号处理器(DSP)保证信号的精度和可靠性;并通过与电动操作机构配合完成控制功能。同时,通过多种通信接口与外围通信设备连接,并利用通信接口、通信信道和标准通信规约实现与远方调度主站的实时通信。其中电源模块包括开关电源和蓄电池,为测控单元提供所需电源,在交流电源失电情况下,由蓄电池提供工作电源,另外,利用电源切换装置实现对 2 路交流电源的自动切换功能。

2.2 故障录波及其远程传输

在铁路电力系统供电设备发生故障后,短时间内要求立即将故障自动报告给电力调度,故障信息包括故障发生地点、故障时间和故障类型,并利用发生故障时的录波波形分析故障,以及实时掌控供电设备的运行情况,保证故障得以迅速处理,提高信号装置供电的可靠性和稳定性。

录波是铁路电力监控的重要功能,是保证故障信息精确性的重要手段之一,用以记录供电中因短路故障或系统操作引起的电流及电压暂态过程。录波功能包括正常录波和故障录波,正常录波是指手动录波,故障录波包括过流录波、过压录波和过流跳闸录波,需将触发时刻、触发点前若干周期,以及触发后若干周期的波形真实记录,并将其上传至电力调度中心。

受故障采样率影响,铁路电力监控的故障录波处理过程具有一定特点。其录波步骤如下:

第 1 步,通过 AD 采样,将电压、电流等信号瞬时值存入环形缓冲区;

第 2 步,由录波判别模块进行条件判别,一旦出现失压、欠压和过流,或者遥信变位等,使运行状态符合录波条件时,即记录下该录波时刻;

第 3 步,从录波记录时刻开始,延时 N 个周期, N 个周期后,将录波时刻的前后各 N 个周期的数据取出进行处理。

又因待处理的故障录波数据量大,故其远程传输是铁路电力监控中的一项关键技术。在录波文件结构基础上,首先将录波信息按目录和文件进行归类,其中文件按照节、段进行组织,然后,将组织后的内容打包为多个分组报文依次进行传送,其中录波文件的格式按录波数据段、时间(毫秒,秒/分/时/天/月/年)、传送原因(手动传送或故障传送)进行设计。

3 监控主站系统

3.1 主站处理功能及特征

监控主站系统是人机接口,以便于调度员实施监视和控制,例如,对铁路信号电源的电压、电流、功率以及频率等进行测量和监视,查看历史记录、故障波形、打印波形曲线以及定制报表,查看车站接线图以及车站地理信息图、远程遥控开关等。

对于越限故障和告警处理,将遥测越限分为:一级过流、二级过流、三级过流以及一级过压、二级过压、欠压及失压、电源缺相、电源相序错误、频率越限等,其中,一、二级过流作为告警事件,需记录告警波形,三级过流作为过流故障,需进行故障录波处理。在产生告警信息时,测控装置快速上报故障信息,调度员通过声光报警并配合进行在线检测,同时实时数据在接线图和实时曲线上同步显示,并以有效值反映实时趋势,便于告警分析和运行状态监管。

由于高速铁路电力系统中运行参数波动频繁,造成了海量实时数据,若采用同步的客户/服务器调用模式,实时数据的处理工作量过大,可能导致数据无法及时处理而丢失,甚至造成故障时告警信息的漏报、误报和错报。为解决这一问题,本文设计和实现了一种发布/订阅原理的异步实时数据调用模式。

3.2 发布/订阅异步传输模式

利用 Java 消息服务 JMS(Java Message Service)和二级缓存机制实现的实时数据发布/订阅异步传输模式如图 3 所示。

考虑到实时数据点多、变化快的特点,故针对实时数据设计了二级缓存机制。第一级缓存中存放的是遥信实时数据和遥测实时数据的队列表,远程通信模块不断地从测控终端采集装置获取实时数据,通过实时数据处理程序加工后,根据遥信和遥测实时值是否变化,决定是否覆盖一级缓存中对应实时值,无变化则不处理,有变化则覆盖原值,并将变化数据追加进入二级缓存环形队列的队尾处。环形队列的设置是为了读写的并发执行。环形队列队尾位置处数据的变化将向主题管理器进行发布,订阅者

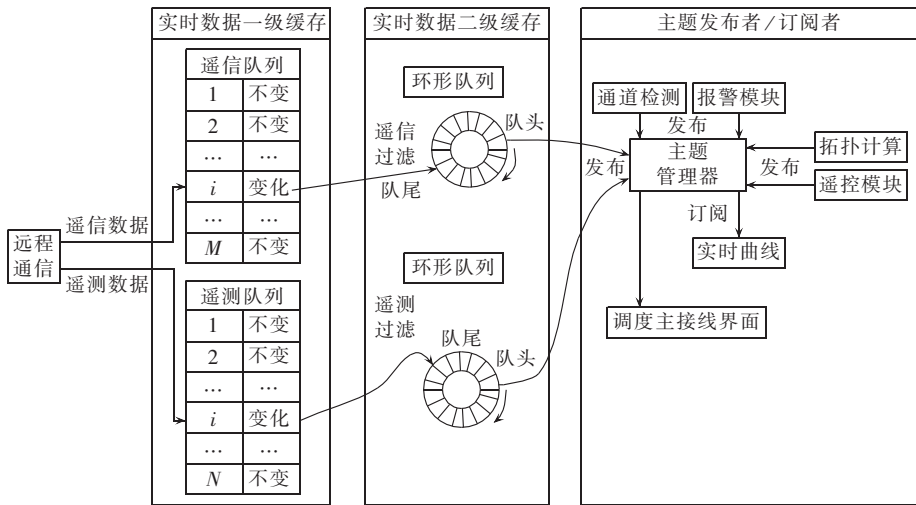


图 3 海量实时数据的发布/订阅异步传输模式

Fig.3 Asynchronous transmission of massive real-time data based on publisher/subscriber principle

则以先进先出(FIFO)的方式从环形队列的队头开始逐个获取数据,经处理,每次从环形队列出队的实时数据都是变化数据,由调度主接线画面和实时曲线接收,达到画面局部刷新效果。

JMS 发布/订阅模式定义如何向一个主题管理器发布和订阅消息,主题是消息的传输中介,发布者完成将消息发布到主题,订阅者完成从主题订阅消息。主题管理器使订阅者和发布者相互独立,以实现异步调用,避免了直接的同步调用,达到松散耦合的实时数据传送目的。为将各类数据进行分类管理,在主题管理器中定制了 6 类消息主题,如表 1 所示。

表 1 发布者/订阅者的消息主题

Tab.1 Message topic of publisher/subscriber

主题号	主题名	发布者	订阅者
Topic 1	Alert	报警模块	监控界面
Topic 2	YX	实时遥信数据	监控界面
Topic 3	YC	实时遥测数据	监控界面 实时曲线
Topic 4	YK	监控界面	远程通信
Topic 5	COMM	远程通信	监控界面
Topic 6	Topology	拓扑计算模块	监控界面

其中,Topic1 是报警主题,用于接收报警模块发出的模拟量越限或开关跳闸等报警信息;Topic 2 是遥信变位主题,用于从实时数据二级缓存队列中发布遥信信号的变位信息;Topic 3 是遥测值变化主题,用于从实时数据二级缓存队列中发布遥测值的变化信息;Topic 4 是遥控主题,用于调度监控画面向远程通信模块发布遥控选择和遥控执行信息;Topic 5 是通道检测主题,用于远程通信模块向调度监控画面发布通道状态信息;Topic 6 是拓扑分析主题^[8-10],用于实时拓扑计算模块向调度监控界面动态发布触发信号电源供电网络拓扑着色的消息。

4 现场通信测试

4.1 网络接口

以沪昆铁路浙赣段电气化提速电力远动系统工

程为例,管辖杭州至株洲(杭州站中心 K0+000~株洲站中心 K944+546)线路,全长 940 多千米,对其设置电力监控系统。并利用调度中心远程控制中心的主站系统集中监控 40 多个车站的信号供电电源,其通信系统包括车站通信网络、配电所通信网络和主站与车站间的通信网络,其网络结构和通信接口如图 4 所示。

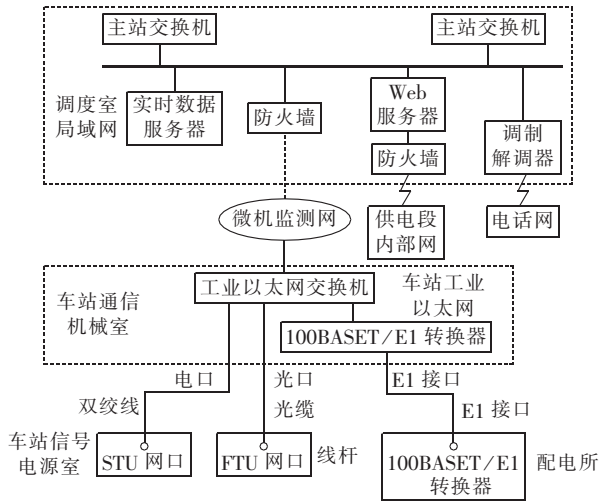


图 4 浙赣铁路电力监控远程通信接口

Fig.4 Remote communication interfaces of power supply SCADA system for Zhejiang-Jiangxi railway

a. 车站通信网络。车站测控装置利用工业以太网交换机组成车站工业以太网,低压侧采用 5 类双绞线从信号电源室接入至通信机械室,高压侧采用光缆从室外线杆接入通信机械室,然后,经微机监测网连至主站调度局域网,利用微机监测网与主站通信。

b. 配电所通信网络。配电所的微机保护和自动化系统利用 100 BASET/E1 转换器,通过 2 M 的 E1 通道接入车站工业以太网,再与车站测控装置一起通过微机监测网与主站调度室连接。

c. 远程主站与车站之间的通信网络。各车站信号电源和线路自动化的通道利用既有车站微机监测

系统网络接入远程调度中心,将调度主站与车站测控装置、配电所自动化系统进行连接。

通过车站工业以太网通信设备接口进行网络连接,以 IEC60870-5-101 通信规约实现测控装置与远程监控中心的通信,采用 Java 语言实现的 TG 系列铁路电力监控调度自动化系统,内核部分采用了公用信息模型建模^[11-15],并基于多线程技术实现了远程通信。

4.2 远程录波的大批量数据传输测试

根据对录波信息及其格式的定义,利用 IEC 60870-5-101 通信规约进行大批量录波数据的远程传输测试,在主站记录下录波报文片断如下所示。

4.2.1 召唤目录

-发送 68 c c 68 73 c 7a 1 5 c ea c 0 0 0
0 1 16

-接收（目录响应）

68 49 49 68 80 c 7e 1 5 c ea c 2e 0 0 4 0 0 0
13 1e 0 1 0 46 2e 2e 20 0 0 0 0 0 0 1 0 46
66 74 68 c7 0 0 0 29 24 0 1 0 46 74 77 20 f
0 0 0 29 24 0 1 0 46 6d 79 bc a1 0 0 0 31 0
0 1 0 46 85 16

4.2.2 召唤文件 1

-发送(选择文件)

```
68 c c 68 53 c 7a 1 d c ea c 61 64 0 1 af 16
```

-接收 (选择文件确认)

68 e e 68 80 c 78 1 d c ea c 74 77 20 f 0 0
2e 16

4.2.3 召唤文件 2

-发送 68 c c 68 73 c 7a 1 d c ea c 64 61

0 2 d0 16

-接收 (第 1 节准备好确认)

68 f f 68 80 c 79 1 d c ea c 64 61 0 0 2 0 0
dc 16

4.2.4 召唤节

-发送 68 c c 68 73 c 7a 1 d c ea c 74 77

0 5 f9 16

4.2.5 段响应帧

-接收 68 4c 4c 68 88 c 7d 1 d c ea c 74

```

77 0 40 1 0 0 0 2 0 0 0 3 0 0 0 4 0 0 0 5 0
0 0 6 0 0 0 7 0 0 0 1 0 0 0 18 fc ff ff 18 fc ff
ff 18 fc ff ff 18 fc ff ff 18 fc ff ff 18 fc ff ff 18
fc ff ff 18 fc ff ff f9 16
( ... )

```

-接收 68 4c 4c 68 88 c 7d 1 d c ea c 74

```

77 0 40 e8 3 0 0 e8 3 0 0 e8 3 0 0 e8 3 0 0
e8 3 0 0 e8 3 0 0 e8 3 0 0 e8 3 0 0 18 fc ff ff
18 fc ff ff 18 fc ff ff 18 fc ff ff 18 fc ff ff 18 fc
ff ff 18 fc ff ff 18 fc ff ff 34 16

```

-接收 (最后段的响应帧)

68 d d 68 80 c 7b 1 d c ea c 74 77 0 3 0 5 16

-发送 (最后一段确认帧)

68 c c 68 53 c 7c 1 d c ea c 0 0 0 3 ee 16

-接收 (下一节准备好帧)

68 f f 68 80 c 79 1 d c ea c 0 0 1 0 2 0 0 18 16
(...)

-接收 (最后的节)

68 d d 68 80 c 7b 1 d c ea c 64 61 1e 1 0 fb 16

通过对分组报文的“发送-接收-再处理”,利用
 召唤目录、召唤文件、召唤节和段响应帧等,完成了
 大批量录波数据的远程传输。

5 结语

针对全面提速的高速铁路中 10 kV 电力系统参数运行特征,充分考虑到车站的地域分布和铁路电力监控中的海量实时数据波动频繁、大量故障录波数据难以远程传输等特点,对发布者/订阅者模式的异步传输模式、故障录波等进行了设计实现和测试。本文中的关键技术和设计应用于 HY 型(TG 系列)铁路电力监控的成套技术装备中,系统投入了自动化监控的工程应用。

现场的测试结果和应用表明,所提出的实时异步传输监控技术能稳定可靠运行,保证了海量实时数据的完整性和大批量录波信息的远程传输。

参考文献:

- [1] 廖铁,刘东. 异步调用的 SCADA 系统海量信息处理方法[J]. 电力系统自动化,2006,30(20):41-44,107.
LIAO Yi,LIU Dong. A massive data processing method for the asynchronous invocation SCADA system[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(20):41-44,107.
- [2] 陈义雄,刘敬军. 铁路 10 kV 电力远动系统[J]. 中国铁道科学,2002,23(4):139-142.
CHEN Yixiong,LIU Jingjun. Railway remote control system of 10 kV power supply[J]. China Railway Science,2002,23(4):139-142.
- [3] 王学锋. 电力远动装置在铁路供电系统中的应用[J]. 高电压技术,2005,31(9):92.
WANG Xuefeng. Application of distribution remote automation technology in Guangzhou-Shenzhen railway[J]. High Voltage Engineering,2005,31(9):92.
- [4] 杜新伟,李媛,刘涤尘. 电力故障录波数据综合处理系统[J]. 电力系统自动化,2006,30(12):75-78,96.
DU Xinwei,LI Yuan,LIU Dichen. Integrated processing system for power fault recording data[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(12):75-78,96.
- [5] 王振树,张波,李欣唐. 新型电力故障录波监测系统[J]. 电力系统自动化,2007,31(10):92-96,101.
WANG Zhenshu,ZHANG Bo,LI Xintang. A novel type of power fault recording and monitoring system[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(10):92-96,101.
- [6] 林知明,陈剑云. HYR03 型 RTU 的新技术应用[J]. 电力自动化设备,2004,24(6):81-82,87.
LIN Zhiming,CHEN Jianyun. Application of new technology in HYR03 RTU[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(6):81-82,87.
- [7] 朱清华,陈剑云. 分布式 SCADA 系统的 UML 建模分析与设计[J].

- 计算机工程,2005,3(6):218-221.
- ZHU Qinghua, CHEN Jianyun. Analysis and design of a distributed SCADA system with UML[J]. Computer Engineering, 2005,3(6):218-221.
- [8] 张伟,周步祥. 基于有向支路的配电网络拓扑分析方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(22):38-41,82.
- ZHANG Wei, ZHOU Buxiang. Topology analysis method of distribution network based on vector branch[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(22):38-41,82.
- [9] 韩国政,邱洪泽. 面向间隔的电力网络拓扑分析方法[J]. 电力系统自动化,2006,30(13):59-63.
- HAN Guozheng, QIU Hongze. Bay-oriented power system network topology analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(13):59-63.
- [10] 林济铿,覃岭,罗萍萍. 基于图形建模的电力系统拓扑分析新方法[J]. 电力系统自动化,2005,29(22):54-59.
- LIN Jikeng, QIN Ling, LUO Pingping. A new method for the power system topology analysis based on graphic modeling[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005,29(22):54-59.
- [11] 屈志坚,陈剑云,陈秋琳. 电气化铁道远动数据库系统业务流程的UML建模[J]. 电力自动化设备,2008,28(4):95-98.
- QU Zhijian, CHEN Jianyun, CHEN Qiulin. Business service flow modeling with UML for electrified railway SCADA database system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008,28(4):95-98.
- [12] 潘毅,周京阳,吴杏平. 基于电力系统公共信息模型的互操作试验[J]. 电网技术,2003,27(10):25-28.
- PAN Yi, ZHOU Jingyang, WU Xingping. Interoperability test based on common information model[J]. Power System Technology, 2003,27(10):25-28.
- [13] 郑建辉,孟昭勇,林馨. 基于 IEC61970/61968 的发电厂资源 CIM 建模[J]. 电力自动化设备,2010,30(1):106-109.
- ZHENG Jianhui, MENG Zhaoyong, LIN Xin. CIM of power plant resource based on IEC61970/61968[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010,30(1):106-109.
- [14] 张慎明,刘国定. IEC61970 标准系列简介[J]. 电力系统自动化,2002,26(14):1-6.
- ZHANG Shenming, LIU Guoding. Introduction of standard IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002,26(14):1-6.
- [15] 农孙博. 基于 EMS-API CIM 的数据库支撑平台的研究[D]. 北京:清华大学电机工程与应用电子技术系,2001.
- NONG Sunbo. Research of a database platform based on EMS-API CIM[D]. Beijing:Tsinghua University, 2001.

(编辑:汪仪珍)

作者简介:

屈志坚(1978-),男,江西南昌人,副教授,博士研究生,研究方向为智能监控与网络拓扑算法(E-mail:08117324@bjtu.edu.cn);

蒋士林(1975-),男,广西桂林人,讲师,硕士,研究方向为交通信息工程及控制;

王健(1978-),男,辽宁铁岭人,讲师,博士研究生,研究方向为电力系统自动化;

陈剑云(1962-),男,江西赣州人,教授,博士,研究方向为信号与信息处理;

陈秋琳(1980-),女,河南南阳人,硕士,研究方向为电力调度自动化。

Distributed SCADA system with asynchronous data transmission for 10 kV power supply of railway

QU Zhijian^{1,2}, JIANG Shilin², WANG Jian^{1,2}, CHEN Jianyun², CHEN Qiulin³

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. School of Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

3. Beijing Togest Time Automation System Equipment Co., Ltd., Beijing 100054, China)

Abstract: As the operating parameters of 10 kV power system for railway vary quickly and the transmission and processing of massive data are much tough, the SCADA system with synchronous real-time data transmission is developed. The remote transmission of operational data and recorded data is analyzed and the processing of massive real-time data is designed. The asynchronous transmission of real-time data is proposed based on the publisher/subscriber principle and two-level caching mechanism is established to guarantee information integrity and avoid important information loss. The developed system operates stably and reliably, with better real-time performance.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China(51007023), the Science Foundation of Jiangxi Education Department(GJJ09223, GJJ10138), the Natural Science Foundation of Jiangxi Province(2009GZS0016) and the Science Foundation of East China Jiaotong University(09DQ08).

Key words: 10 kV power system for railway; SCADA; massive data processing; publish/subscribe model; two-level caching mechanism