

赵巧红,施星宇,曾照福,等. 风电场跨平台协议转换系统设计与实现[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2019,34(3): 61-68. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.03.009

Zhao Q H, Shi X Y, Zeng Z F, et al. Design and Implementation of Wind Farm Cross-platform Protocol Conversion System [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019, 34 (3) : 61 - 68. doi: 10. 13582/ j. cnki. 1672-9102. 2019. 03. 009

风电场跨平台协议转换系统设计与实现

赵巧红^{1*}, 施星宇³, 曾照福², 周武喜¹

(1.湘电风能有限公司,湖南湘潭 411102;2.湖南科技大学 信息与电气工程学院,湖南湘潭 411201;
3.湖南大学 电气与信息工程学院,湖南长沙 410082)

摘要:开发了一种协议转换系统,在 Eclipse 环境中采用跨平台 JAVA 语言进行编程实现,通过编写 MODBUS TCP/IP 协议、OPC 协议、104/101 协议的 API 类来实现以上几种协议的相互转换,可将转换后的数据上传给风电场从 SCADA 系统读取数据的厂家,采用改进的 CRC 算法来保证协议转换后数据的准确完整.读取的数据存储在内置数据库中,通过地址映射表进行数据转发,支持实时数据上传,亦支持经过复杂计算后的统计数据和历史数据上传,支持跨平台操作系统,安全可靠,能够满足最新风电场电网标准要求.

关键词:协议转换;MODBUS TCP/IP 协议; OPC 协议; 104/101 协议; 跨平台

中图分类号:TM734 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2019)03-0061-08

Design and Implementation of Wind Farm Cross-platform Protocol Conversion System

Zhao Qiaohong¹, Shi Xingyu³, Zeng Zhaofu², Zhou Wuxi¹

(1. Xeme Windpower Company Limited, Xiangtan 411102, China;
2. School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
3. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A protocol conversion system was developed, which was realized by using JAVA programming language in the Eclipse environment, MODBUS TCP/IP protocol, OPC protocol and 104/101 protocol could be converted to each other by writing the corresponding API class. The converted data was uploaded to manufacturers which needed read data from the SCADA system, an improved CRC algorithm was used to guarantee the accuracy of the data after the protocol conversion was completed. The read data was stored in the built-in database, and the data was transmitted through the address mapping table, and supported real-time data uploading, it also supported complex statistical data and historical uploading, Cross-platform operating system was supported, which was safe and reliable, and could meet the latest wind farm power grid standard requirements.

Keywords: protocol conversion; MODBUS TCP/IP protocol; OPC protocol; 104/101 protocol; cross-platform

每个风电场建成之后,都有多个第三方取数据厂家需从 SCADA 系统服务器读取数据,第三方取数据厂家主要为省调、地调、远动、集控中心、风功率预测系统、AGC,AVC 等厂家.与这些厂家建立通讯的协议要求具备 MODBUS TCP/IP 协议、OPC 协议、104/101 协议,从 SCADA 系统获取的数据除了实时数据外,还需要有经过计算的统计数据 and 历史数据.鉴于电力系统安全性考虑,华北电网、华中电网、华东电网都陆续要求数据转发设备的操作系统为非 Windows 系统.

目前为了满足以上需求,很多风电机组厂家多采用通讯网关机进行协议转换,此设备为纯硬件设备,可实现多个协议(MODBUS TCP/IP 协议、OPC 协议、104/101 协议)的实时数据转发,但无法满足统计数据和历史数据的灵活转发,数据经过协议转换之后,由于缺乏校验算法验证,数据质量并不高,出现很多丢失、串行及错位等问题^[1-4].

针对现有问题,为了满足电网最新标准要求,本文开发了一套风电场跨平台协议转换系统,该系统采用跨平台语言 JAVA 编写,为纯软件,安装于一台服务器中,可运行在 Linux 操作系统内,支持以上协议的相互转换与数据转发,为了保证数据质量,采用改进的 CRC 算法来保证协议转换后数据的准确完整以及错误数据的校正.

1 总体设计

本系统以风电场的每台风机生产数据和生产系统为基础,如图 1 所示,首先通过光纤环网将每台风机的 PLC 数据传送到升压站 SCADA 服务器中,通过 MODBUS TCP/IP 协议或 OPC 协议实时采集每台风机 PLC 基础数据并存储于 SCADA 服务器数据库中.为了避免占用 SCADA 系统的资源,专门配置了一台协议转换服务器,该服务器中安装有本文的协议转换软件,第三方取数据厂家都是从此服务器中获取的实时数据和历史数据.协议转换服务器与 SCADA 系统服务器通过网线连接于同一个局域网内,协议转换服务器与 SCADA 服务器通讯亦采用 MODBUS TCP/IP 协议或者 OPC 协议.

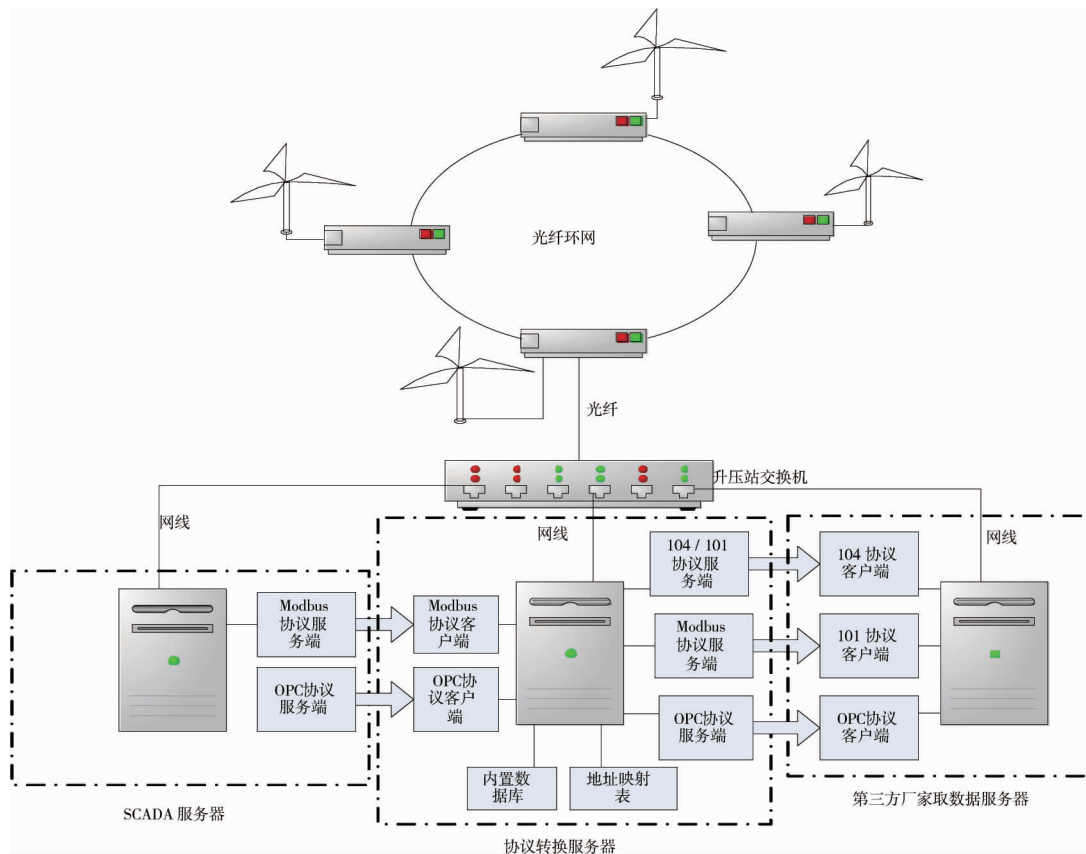


图 1 协议转换系统总体框图

本系统选用的编程语言 JAVA 和 My SQL 数据库都支持运行在跨平台操作系统中,所以该系统既可运

行于安装了 Windows 操作系统的服务器中,又可以运行于安装了 Linux 操作系统的服务器中,满足电网的最新安全性要求.本文协议转换系统主要包括 MODBUS 协议客户端、OPC 协议客户端、内置数据库、地址映射表、MODBUS 协议服务端、OPC 协议服务端、104 协议服务器、101 协议服务端.各种通讯协议相互转换是通过调用 API 类和地址映射表来实现,可在系统的主界面勾选本次需转换的协议,可操作性高.协议转换服务器中安装有内置数据库 My SQL,可以将 SCADA 服务器采集过来的数据进行实时存储,也可以将风机的基础数据进行统计计算存储为存储过程,数据的存储时间周期可以做调整,确保与第三方厂家数据采集频率保持一致^[5-11].

2 硬件设计

本文协议转换系统涉及的硬件主要包含:SCADA 系统服务器、协议转换服务器、第三方厂家取数据服务器、整个风电场风机光纤环网.如图 1 所示,SCADA 系统服务器、第三方厂家取数据服务器及整个风电场风机光纤环网为风电场原有配置.风电场的风机光纤环网包含从每台风机主控 PLC 采集的数据,通过每台工业以太网交换机以光纤环网形式将数据送至升压站 SCADA 服务器中.SCADA 服务器、协议转换服务器、第三方厂家取数据服务器通过网线与升压站交换机相连,这样三者与风机全部处在同一局域网内,可以确保通讯.

SCADA 服务器包含目前最常用的 2 种通讯协议(MODBUS TCP/IP 协议、OPC 协议)服务端,可以以这 2 种通讯协议将数据进行上传与数据交互.但此服务器主要运行 SCADA 系统相关数据存储与计算、报表统计显示等 SCADA 相关功能软件,如果还安装本文协议转换系统软件,将一定程度上占用该服务器资源,SCADA 监控等功能会受到影响.为了使 SCADA 系统本身功能不受影响,增加了本文的协议转换服务器,该服务器独立于 SCADA 系统服务器,主要运行协议转换系统软件,完全用于与第三方取数据厂家进行数据转发与上传.

本文软件采用 Java SE 10.0.2 进行开发,JDK 10 对电脑本身硬件要求并不太高,内存 4 G 完全满足要求,由于同时需要对 SCADA 系统采集过来的大量历史数据进行存储、计算及转发,25 台风机标准风场存储 5 a 数据为 350 G 左右,选择服务器硬盘 500 G 以上即可.

3 软件设计

3.1 API 类与地址映射表编写

本系统需要编写 MODBUS TCP/IP 协议、OPC 协议、104/101 协议、改进 CRC 算法的 API 类,引用的类如下:

```
import java.net.Socket;
import java.util.Map;//
import java.util.HashMap;//建立存放数据缓存表
自己编写的类如下:
import tra. transpor.da.dvprotocol. ModbusTcpDriver;//Modbus 协议类
import tra. transpor.da.dvprotocol.ImprovedCRCException;//本文改进 CRC 算法类
import tra. transpor.da. dvprotocol.IEC104TCPDriver;//104 协议类
import tra. transpor.da. dvprotocol.IEC101SerialDriver;//101 协议类
import tra. transpor.da. dvprotocol.OPC Driver;//OPC 协议类
```

其中,调用 modbus 协议部分代码如下:

```
public class ModbusConvertIEC104 {
    public static void main(String[] args) throws ImprovedCRCException {
        // 建立连接(注意,Modbus 协议的连接端口是 502)
        ModbusTcpDriver = new ModbusTcpDriver ();
        Socket so = new Socket("10.128.99.11",502);
```

本系统还需要编写 2 个映射表,分别为 MODBUS 协议客户端至 104/101 协议服务端的地址映射表, OPC 协议客户端至 104/101 协议服务端的地址映射表.如图 2 所示,协议转换的数据来源都为 SCADA 服务器,服务器默认 IP 地址为 10.128.99.11,该 2 个地址映射表通过协议的默认端口 502 和 135/2404 端口及设备的 IP 地址组成套接字 SOCKET 来实现地址映射报文的发送和接收,通过调用上述编写的 MODBUS 协议类 ModbusTcpDriver,

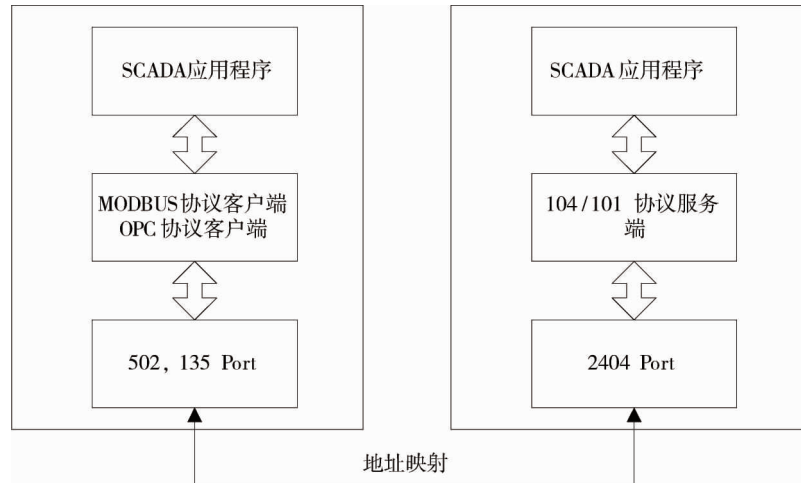


图 2 地址映射表框图

104 协议类 IEC104TCPDriver, 101 协议类 IEC101SerialDriver, OPC 协议类 OPC Driver 来实现以上协议之间数据的传输.其中,由于 OPC 协议无法在 Linux 操作系统中运行,当本系统运行在 Linux 系统中时,OPC 协议客户端至 104/101 协议服务端的地址映射表无效.

3.2 系统实现流程图

本系统实现流程详见图 3 所示.

1) 为了保证数据同步一致性,首先需要统一时钟源:将 Eclipse 平台、内置数据库、第三方测试软件等都采用 SNTP 协议统一对时,此协议对时精度可达到毫秒级,对时完成后,调用与配置已经编写好的 MODBUS 协议类 ModbusTcpDriver 和 OPC 协议类 OPC Driver 的客户端,无需服务端;

2) 编写完配置文件后,为了验证其功能,采用第三方 MODBUS 协议和 OPC 协议软件(modsim 和 kepower 等)的服务端发送数据给配置好的客户端,能正确接收第三方软件发送过来的数据且能保持同步,则说明配置正确,可以继续按照图 3 往下执行,否则就需要返回到配置 MODBUS 协议和 OPC 协议的客户端中,查找原因且做相应更改直到能正确读取数据为止;

3) 按照以上地址映射表编写方法,编写 2 个地址映射表,分别为 MODBUS 协议客户端至 104/101 协议服务端的地址映射表,OPC 协议客户端至 104/101 协议服务端的地址映射表;

4) 编写完地址映射表之后,为了验证其协议转换功能,采用第三方 104/101 协议软件的(proIEC104ClientVer 和 proIEC101ClientVer 等)的客户端读取图中第三方 MODBUS 协议和 OPC 协议软件(modsim 和 kepower 等)的服务端发送数据,能正确接收数据且能保持同步,则说明地址映射表编写正确,否则返回到地址映射表中重新进行编写;

5) 内置数据 My SQL 用于存储协议转换后的数据,支持统计数据上传,通过在该数据库编写存储过程

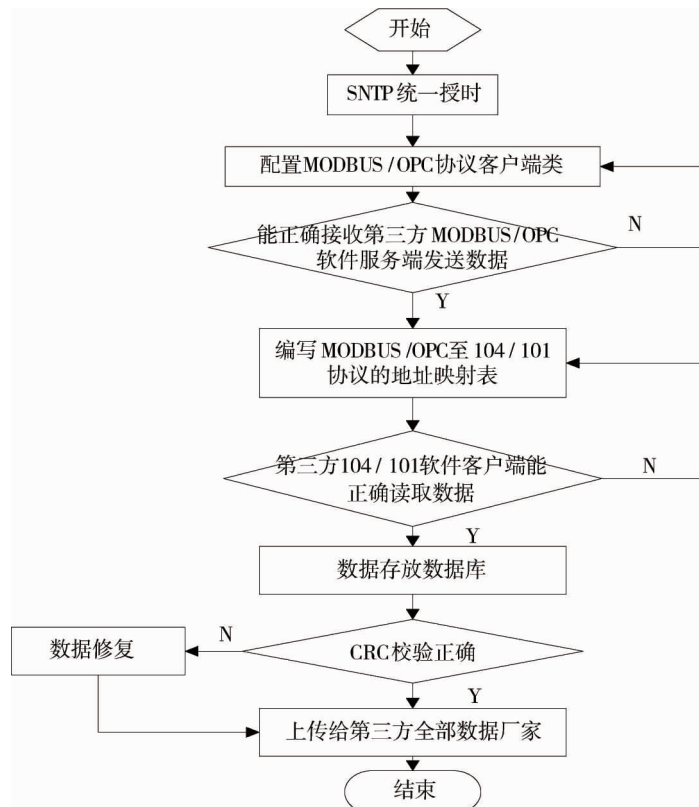


图 3 协议转换系统实现流程

来实现;这样就可以将原 SCADA 系统服务器中做的计算工作量转移到此协议转换服务器中,合理分配了计算机资源,保证 SCADA 系统稳定运行;

6)转换数据完成后,为了保证上传给第三方厂家的数据准确,引入了改进的 CRC 校验方法,校验正确,余数为 0,则进行数据上传,校验不正确,余数不为 0 则进行数据修复,即从数据库中再次将正确数据进行上传.至此整个系统编程结束.

3.3 改进 CRC 校验算法

数据经过协议转换之后,为了保证上传给第三方厂家历史数据的准确,本系统增加了改进 CRC 校验算法.传统 CRC(Cyclical Redundancy Check)循环冗余校验码算法,是数据通信领域中比较常用的一种差错校验码,该校验码的信息字段和校验字段可以任意选定,对数据进行多项式计算,并将得到的结果附在帧的后面,接收设备也执行类似的算法,以保证数据传输的正确性和完整性^[12-15].但传统的循环冗余校验码算法只具备数据传输检错功能,并不具备数据纠错与修复功能.

本文 CRC 校验算法对传统 CRC 算法做了相应改进,当 CRC 算法验证的余数不为 0 时,同步记录该数据报文的时间戳,存放在缓存中,通过该时间戳对该数据进行再次转换请求,直到余数为 0,数据正确为止.具体校验与数据校对过程详见图 4 所示.

校验详细过程如下:

1)启动定时器开始监听协议转换软件发送的数据,首先判定能否正常监听到数据,可以则进行 CRC 校验;

2)根据接收到的数据选择合适的生成多项式,生成多项式最高位和最低位必须为 1,生成多项式的幂次越高校验的准确性越高,SCADA 系统数据大都为 16 bit word 类型寄存器,由于选择的生成多项式最高位和最低位必须为 1,所以本检验选择的生成多项式为 CRC - CCITT,即式(1).

$$G(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1. \tag{1}$$

式中: X 为该数据以二进制形式表示时对应的不为 0 的位,其中 X 的指数代表该数据对应该位为 1.

3)计算 CRC 校验码,校验码的位数为生成多项式最高幂 R ,具体计算步骤为

(1) 将 X 的最高次幂为 R 的生成多项式 $G(X)$ 转换成对应的 $R+1$ 位二进制数.

(2) 将接收到的 SCADA 系统数据 $C(X)$ 左移 16 bit,相当于将对应的数据 $C(X)$ 信息多项式乘 2 的 R 次幂,即为 $C(X)2^R$.

(3) 按照式(2)用 $C(X)2^R$ 去除生成多项式 $G(X)$,对应到相应的二进制则为按最高位异或,得到的 R 位的余数 $R(X)$ 即为校验码.

$$R(X) = [C(X)2^R] / G(X). \tag{2}$$

(4) 对 CRC 校验的数据按照式(2)进行编码,编码后的数据为

$$T(X) = C(X)2^R + R(X). \tag{3}$$

(5) 对 CRC 校验的数据进行解码,编码方法为将编码后的数据 $T(X)$ 除以生成多项式 $G(X)$,对应的相应二进制则为按最高位异或.

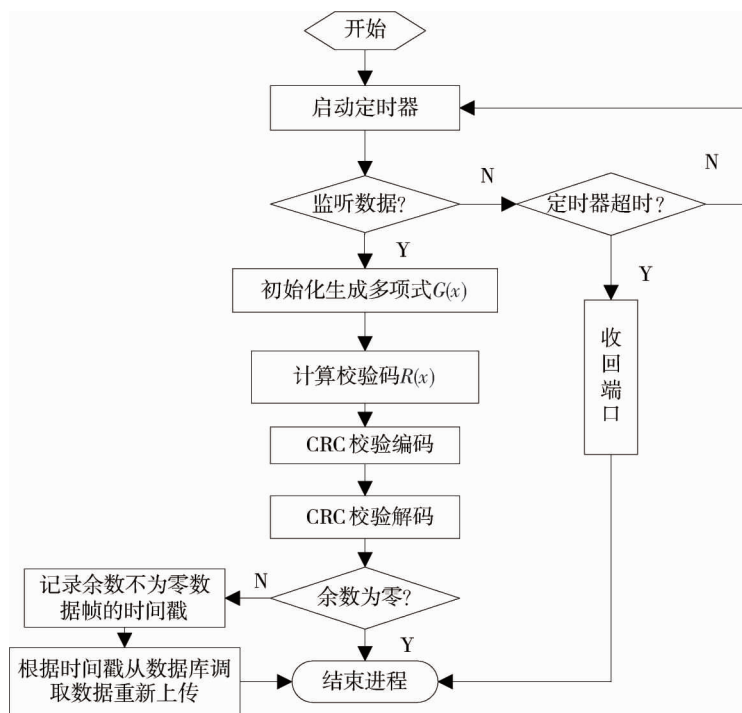


图 4 改进 CRC 校验算法流程

6) 步骤(5)的余数为0则说明传输正确,此时结束进程,余数不为0,则说明传输有误,此时需要同步记录错误数据帧的时间戳,根据该时间戳从数据库中重新调出进行数据上传,直到CRC校验余数为0,数据全部正确为止.

3.4 内置数据库数据计算

内置数据库为My SQL,提前将需做统计计算的参数计算方法使用SQL语言编程,作为存储过程进行存储,如总电量、年发电量、月发电量等,存储过程可以直接调用,这样就将原来在SCADA系统服务器中做的计算工作量转移到此协议转换服务器中,合理分配了计算机资源,有效提高效率,部分存储过程代码如下:

```

select ifnull(SUM(TagVALUE),0) INTO AllCap from T_TagYearData where TB in (select TB from T_PubTurbine where TypeID<>3);
select ifnull(SUM(TagVALUE),0) into YearCap from T_TagYearData
where DATE_format(UpdateTime, '%Y')= DATE_FORMAT(NOW(), '%Y') and TB in (select TB from T_PubTurbine where TypeID<>3);
select ifnull(SUM(TagVALUE),0) into MonthCap from T_TagMonthData
where DATE_format(UpdateTime, '%Y-%m')= DATE_FORMAT(NOW(), '%Y-%m')

```

其中,AllCap为总发电量;YearCap为年发电量;MonthCap为月发电量.

4 测试结果

整个系统开发完成之后,需要进行严谨测试,通过之后方能投入风电场实际使用.

如何确保数据转换过程中的同步性、一致性、完整性是本系统关键,主要通过以下3点来保证:

- 1) 统一时钟源:SCADA服务器和第三方厂家取数据服务器都通过NTP协议与协议转换服务器对时,协议转换软件内部时钟设置与协议转换服务器对时;
- 2) 软件主界面手动设置数据采样频率,确保服务端和客户端采样频率一致;
- 3) 添加改进CRC校验算法和机制.

本系统主界面详见图5所示,主界面上可以选择MODBUS协议、OPC协议、104协议、101协议的驱动程序,当有第三方取数据厂家需要获取历史数据时,需选择将协议转换后的数据存入数据库.

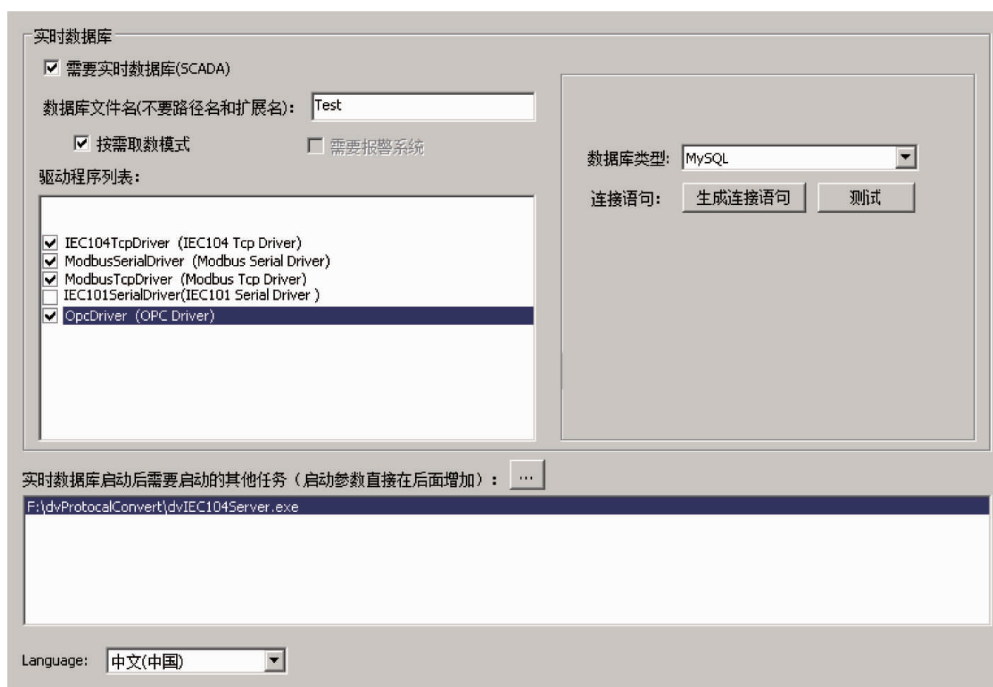


图5 系统主界面

图6为某风场经过本系统协议转换后的实际风速数据,共4464个数据样本点,横坐标为数据量;纵坐标为风速值,单位为m/s.该风场首先通过选择本系统的MODBUS TCP/IP协议客户端驱动将SCADA系统数据采集过来,数据先存储于内置数据库中,通过调用本系统内部地址映射表转换之后,再通过104协议服务端将数据上传给第三方取数据厂家.其中,风速为该风场需要上传的数据之一,图6a曲线为协议转换之前从SCADA服务器中直接读取的风速,图6b曲线为未添加本文改进CRC算法经过本系统转换后的风速,图6c曲线为添加了本文改进CRC算法经过本系统转换后的风速数据.从图中可以看出,未添加改进CRC算法之前,经过协议转换之后,图6b曲线在横坐标数据样本点2700~3000存在一段与图6a曲线数据严重偏离问题,而在增加了本文改进CRC算法之后,如图6c曲线所示,与图6a曲线完全吻合,无数数据偏离和失真现象.由此可以看出,添加了本文改进CRC校验算法之后的协议转换系统除了可以检查数据传输中错误外,还可以进行数据纠错与修复,能完全保证数据转换的准确一致.

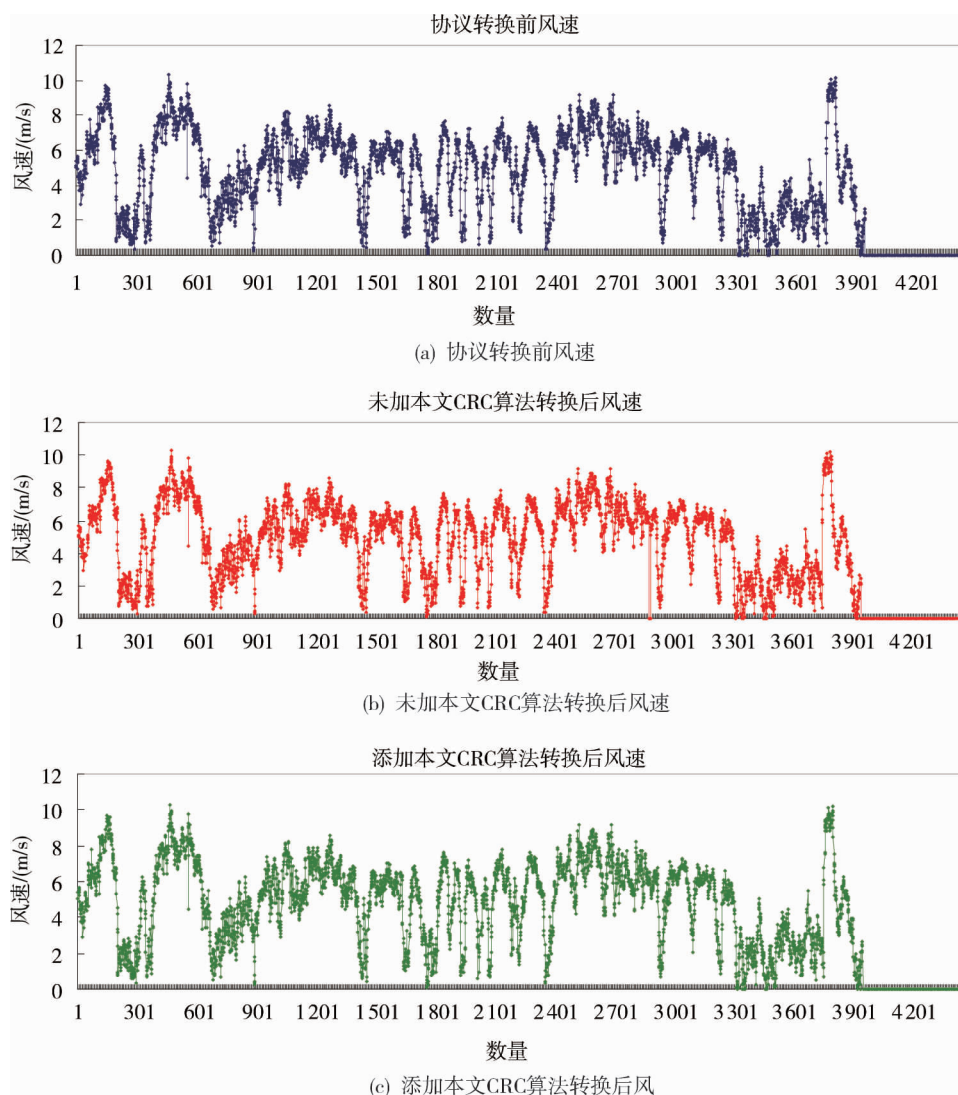


图6 协议转换前后风速对比

5 结论

1) 可以实现风电场 SCADA 系统数据在 MODBUS TCP/IP 协议、OPC 协议、104/101 协议之间相互转换,具备多种协议.

2) 增加了内置数据库,可支持历史数据和经过复杂计算的统计数据上传.

3) 增加了改进 CRC 算法,具备差错与纠错功能,保证了数据上传得准确完整.

4) 采用跨平台的 JAVA 语言编程,支持在 Linux 操作系统中运行.满足目前电网的最新标准要求,有

效保证了风电场顺利并网发电.

参考文献:

- [1] Minchala L I, Ochoa S, Velecela E, et al. An open source SCADA system to implement advanced computer integrated manufacturing[J]. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, 2016, 14(12): 4657-4662.
- [2] Revathy N, Murthy S R. A probabilistic framework for protocol conversions in IIoT networks with heterogeneous gateways[J]. IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, 2017, 21(11): 2456-2459.
- [3] Woonggy K, Minyoung S. Standalone OPC UA wrapper for industrial monitoring and control systems[J]. IEEE Access, 2018, 6: 36557-36570.
- [4] Salvatore C, Marco G S, MARCO S S. Realising interoperability between OPC UA and OCF[J]. IEEE Access, 2018, 6: 69342-69357.
- [5] 王雨峰,李瑞明,陈先勇,等. 变电站通信管理机 MODBUS 规约通用接口实现[J]. 电工技术,2018(1): 77-80.
- [6] 张子实,赵静一,周枫. 基于 LabVIEW 和 MODBUS/TCP 的风电数据采集系统设计[J]. 自动化仪表,2018, 39(7): 47-50.
- [7] 胡啸,叶贵中,许纯骁. 基于 Modbus 双层网络的智能设备控制系统[J]. 电工技术, 2018(8): 22-25.
- [8] 刘希军,魏麒,朱新宇,等. 基于 Modbus 协议的平整度检测系统研究[J]. 仪表技术与传感器,2018(9): 51-54.
- [9] 刘勇,李俊,王其斌. Modbus 通讯中的环形 FIFO 队列算法[J]. 仪表技术与传感器,2017(6): 161-164.
- [10] 伊胜伟,张翀斌,谢丰,等. 基于 Peach 的工业控制网络协议安全分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),2017, 57(1): 50-54.
- [11] 刘丹,赵艳领,谢素芬. 基于 OPC UA 的数字化车间互联网络架构及 OPC UA 开发实现[J]. 中国仪器仪表,2017(10): 39-44.
- [12] 张贵军,陈凯,徐建明,等. MES 实时数据监测系统设计与开发[J]. 浙江工业大学学报,2017, 45(4): 401-408.
- [13] Shi J J, Jing M, Xin L. Pitting corrosion resistance of a novel duplex alloy steel in alkali-activated slag extract in the presence of chloride ions[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials,2017,24(10): 1134-1144.
- [14] Hao X, An X, Wu B, et al. Application of a support vector machine algorithm to the safety precaution technique of medium-low pressure gas regulators[J]. Journal of Thermal Science, 2018, 27(1): 74-77.
- [15] 高金峰,杜云朋. 用于电能质量监测的 IEC61850 协议转换策略研究[J]. 郑州大学学报(理学版),2018, 50(1): 99-106.