

基于 Web Services 的风电场集中监控系统的设计与实现^①

梁 涛^{②*} 梁晓婷^{③*} 李国强^{**}

(* 河北工业大学控制科学与工程 天津 300130)

(** 石家庄市科技信息研究所 石家庄 050000)

摘 要 为了解决风机数据映射及通信问题,依据风机通信映射国际标准 IEC61400-25,从信息模型、信息交换模型,以及这两种模型向特定协议栈映射三个方面进行了研究。在此基础上构建了基于 Web Services 的风电场监控系统体系结构,完成了对 Web Services 服务端模块以及 Web 服务接口设计,突破了不同风机厂家无法实现统一监控等关键技术,有效地解决了目前风电场中不同设备间的相互通信问题,实现了对风场设备的集中监控,从真正意义上实现了风电场的优化运行,并节约了对风电场投资,实现了风电场效益的最大化。

关键词 风电场, IEC61400-25, 监控系统, Web Services

0 引 言

近年来国内外风力发电行业得到迅猛发展^[1,2],同时一系列风电技术与风场管理问题也逐步显现^[3],如风电场风机设备老化造成风机故障率上升,人力成本增大,最终导致风机运维成本大幅度提高。因此,如何降低风电场运维成本成为业界备受关注的焦点之一。目前对风机实时在线远程监控和基于大数据的远程故障诊断是有效降低运维成本的重要手段。这都依赖于集控中心对风场数据信息的实时、全面掌控。当前国内也有一些自主研发的数据采集(supervisory control and data acquisition, SCADA)系统,例如华锐风电、金风公司的监控及远方监测系统。但这些系统均存在协议不开放、信息描述不统一、无法实现互联互通及扩展等问题,对整个风电场的运行维护与协调统一管理造成了严重的影响^[4,5]。

IEC61400-25 标准为风电场监控系统的设计与

开发提供了良好的标准规范^[6,7]。该标准定义了风电场特定信息模型、通信交换机制以及通信协议映射,完成了对风电场信息的模型化与标准化,最终使各个设备间相互具备互联性、互操作性以及可扩展性^[8]。将风电场信息模型与信息交换模型映射于 Web Services 协议栈的方法是标准所提出的可以完全支持模型服务接口的一种方法,其具备多种适合风电场的特点,例如适应分布式环境、跨平台、跨技术等。本文在标准基础上提出了 IEC61400-25 到 Web Services 映射的实现方案,并在此基础上建立了一套基于 Web Services 的风电场监控通信系统,并通过测试验证了该系统的有效性。

1 IEC61400-25 标准的风电场建模

风电场系统包含风电机组、测风塔多种组件,且各组件间联系紧密。风电机组中每个系统都与风电场中其它系统密切相关,偏航系统和气象系统的风能条件相互关联,根据风向变化调节风机叶片角度,

① 河北省科技计划(16214510D,17214304D)资助项目。
② 男,1975 年生,教授,博士;研究方向:网络化自动控制系统;E-mail: 137262986@qq.com
③ 通信作者,E-mail: 1572433061@qq.com
(收稿日期:2017-08-10)

使风电机组能够有效利用风能,同时在风速过大时能够对风电机组进行保护。风电场的分布式功能使得风电机组等设备信息能够实现内部和外部交流需求。在风电场中形成了庞大的数据信息,根据风电场对现场设备功能的实际需求,完成对信息模型的建立,有利于实现不同厂家设备数据的统一,实现对风电场风电机组等设备的全部监控。

IEC61400-25 标准为风电场集中监控系统提供了统一的网络通信基础^[9]。该标准的建立以实现风场中不同厂家设备间的自由通讯为根本目的,专

门针对风电场监控系统^[10]。图 1 为该标准的概念通信模型。IEC61850 是应用于电力系统中变电站的标准,IEC61400-25 标准是 IEC61850 标准在风电系统中的继续,该标准在结构和最终目的方面与 IEC61850 有着非常紧密的关系^[11]。IEC61400-25 继承了 IEC61850 的优点,具体体现在采用面向对象的建模方法且具备完善的自我表述能力;采用抽象服务接口和可扩展标记语言(XML)技术使得网络应用层和网络传输层的协议相互独立。

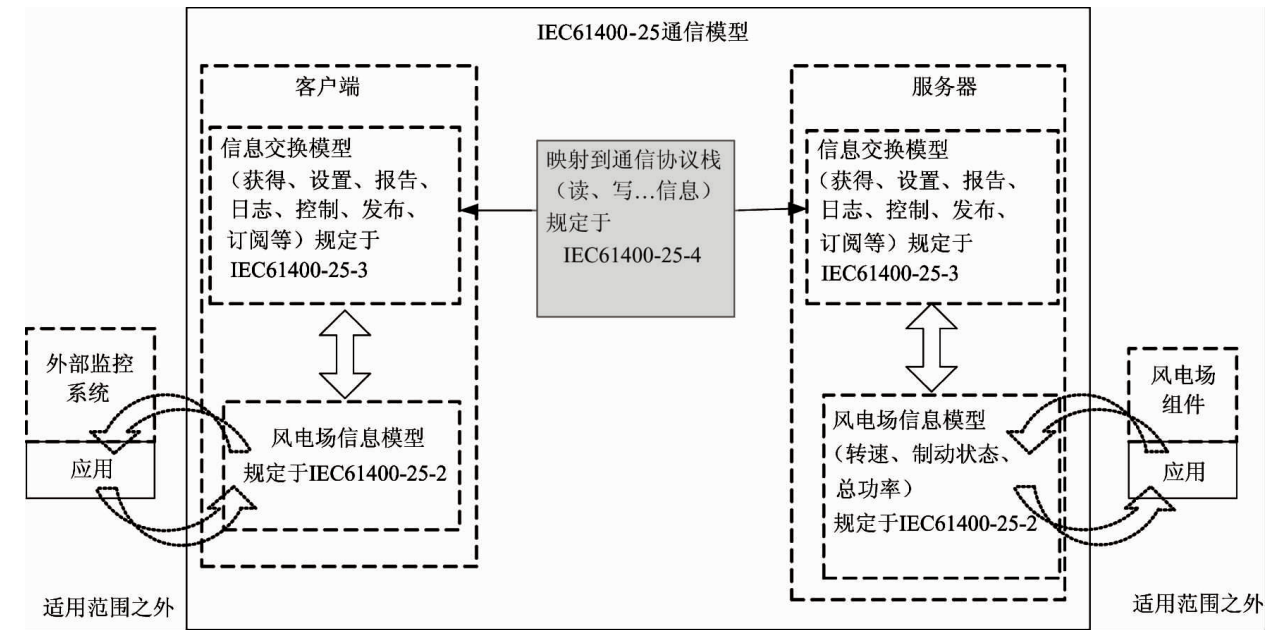


图 1 IEC61400-25 标准的概念通信模型

由图 1 可知,信息模型与信息交换模型共同组成了客户机与服务器间的通信接口。风电场信息模型对信息进行标准化的编译,服务器能够通过该模型向客户机提供统一的面向组件的风电场数据。信息交换模型提供了客户端以及服务器的所有功能,为通信提供了统一的服务接口。客户机与服务器之间通过报文传递实现信息交换。

1.1 风电场信息模型

构建风电场信息模型的过程就是将风电场设备抽象化为能够用逻辑设备(LD)、逻辑节点(LN)表示的数据,最终将信息类以逐层嵌套的形式表现出来。IEC61400-25-2标准定义了风电场通用信息模

型,规定了系统特定的逻辑节点以及风电场特定的逻辑节点两类逻辑节点。其中,系统特定逻辑节点包括物理主机设备的所有公用信息和风电场独有信息。而风电场特定逻辑节点至少应继承系统逻辑节点的所有强制性信息。风电场信息应在风电场特定的逻辑节点中进行分类。原则上风电场信息在分类成不同的逻辑节点的过程中是一个随机的过程,但是就标准化而言,风电场信息的建立应该遵循明确的、相似的方法。本文以风力发电机组通用信息模型(WTUR)为例,展示了信息模型的建模图例,如图 2 所示。

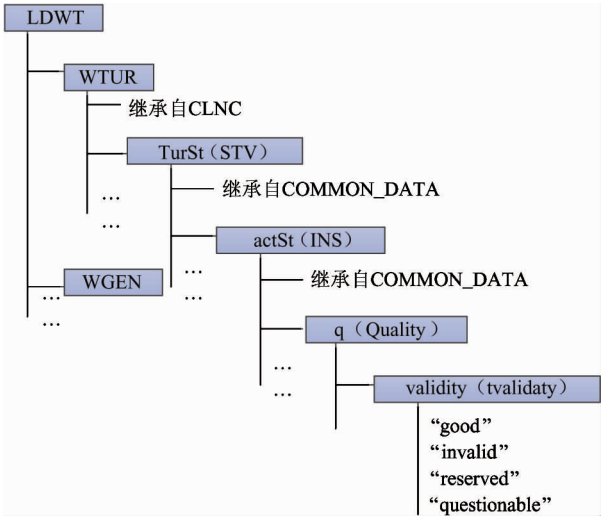


图 2 风电场信息模型建模图例

1.2 风电场信息交换模型

IEC61400-25 标准规定的风电场信息交换模型的功能是完成各个不同的信息模型所包含的例如逻辑节点、数据属性等信息类之间的相互交换。信息交换模型为客户端与服务器之间的通信提供服务接口,其具备的功能主要包含操作与管理功能。IEC61400-25 标准定义了抽象通信服务接口 (abstract communication service interface, ACSI),该接口描述了包含连接、变量访问、时钟同步等在内的各种服务通过特定通信服务映射 (specific communication service mapping, SCSM) 对应到不同的通信应用层^[12]。ACSI 源于对实体设备的实践经验抽象,主要对通信服务、通信对象和参数进行定义,它独立于下层通信系统,并和采用的通信协议及具体实现方法不相关,表 1 所示为部分服务及其描述。

表 1 信息模型部分服务与描述

	服务名称	服务功能描述
Services for LOGICAL-DEVICE	Get Logical Device Directory	获得逻辑设备中所有逻辑节点 (LN) 的名字
Services for Logical Node Directory	Get Logical Node Directory	获得逻辑节点中所有不同数据的名字
Services for DATA	GetDataValues	获得指定的数据的值
	SetDataValues	设置指定的数据的值
	GetDataDirectory	获得数据类中所有包含信息的名字
	GetDataDefinition	获得指定信息的详细描述

1.3 IEC61400-25 到 Web Services 的映射

(1) Web Services 技术

Web Services 技术是服务器通过网络发布应用服务,客户端程序能够以远程的方式对服务进行调用的一种标准机制^[13]。该技术采用了面向服务的体系机构,运用 XML、网络服务描述语言 (WSDL)、统一描述、发现和集成 (UDDI) 协议、简单对象访问协议 (SOAP) 等开放性的技术标准,将所有的信息保存于文档中,使得计算机应用程序能够通过通用的协议 (例如超文本传输协议 (HTTP) 等) 完成数据的交换^[14]。图 3 所示为 Web Services 技术的体系结构。由图可见,该结构包括三部分之间的交互:服务发布者、服务注册者以及服务请求者。交互的过

程中涉及到服务发布、查询某个服务、根据服务的描述绑定并调用该服务。

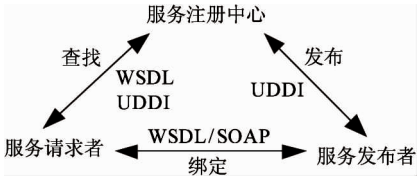


图 3 Web Services 体系结构图

服务发布者将提供 Web Services 的服务定义及描述,并将其同步发送至服务注册中心,客户端 (即服务请求者) 将根据 WSDL 描述文档生成一个 SOAP 消息并嵌入到 HTTP 请求中,同时发送到 Web 服务器中,由服务请求处理器解析该消息,并根据描

述绑定并调用相应的服务,生成对应的 SOAP 应答发送回服务器,最后通过 HTTP 应答的方式返回给客户端,实现服务的成功调用。

作为服务的使用者来看,该种服务是一种应用于 Web 上的组件或者对象。在风电场通信系统中,即为风场风电机组设备的对象化通信数据以及服务的接口。此种方式具备多种优点,例如:松散耦合性,只要某种服务的调用接口不发生改变,所有客户都可以随时调用该服务;同时该技术还具备高度的集成能力,它使用开放的协议对服务进行描述规范、信息传输与交换,完全屏蔽了软件间的差异性,多种软件间通过协议进行互操作,实现了信息的高度集成。因此本文采用 IEC61400-25 标准到 Web Services 协议的映射对风电场监控系统的建设具有很大的促进意义。

2 IEC61400-25 到 Web Services 的映射过程

IEC61400-25 到 Web Services 的映射过程包括两个部分:信息模型的映射以及信息交换服务的映射。将信息模型映射于 Web Services 协议栈的过程以及内容方面较为简单,仅仅完成对象名称的一对一映射,在内容方面并无实质性的改变。

信息交换模型中服务要映射为相应的 Web 服务。服务对象包括服务器、逻辑设备、逻辑节点、日志和控制等。各种服务类的映射都要定义对应的 XML 文本。本文以获取服务器类(Get Server Directory)为例进行描述。在 Web Services 中需要对访问及返回参数进行定义。以下为对请求参数进行描述的 WSDL 文档。

```
<s:element name = "Get Server Directory Request" >
<s:complex Type >
<s:sequence >
<s:element name = "Obj Class" type = "ews:tObject Class"/ >
</s:sequence >
<s:attribute name = "UUID" type = "ews:
```

```
tstring36" use =
"optional"/ >
<s:attribute name = "Assoc ID" type = "ews:tAssoc ID"
use = "required"/ >
</s:complex Type >
</s:element >
```

包含数据返回响应数据的 WSDL 文档如下所示。

```
<s:element name = "Get Server Directory Response" >
<s:complex Type >
<s:choice >
<s:element name = "LDRef"
type = "ews:tLogical Device Reference" min Occurs = "0"
max Occurs = "unbounded"/ >
<s:element name = "Service Error"
type = "ews:tService Error" min Occurs = "0"
max Occurs = "1"/ >
</s:choice >
<s:attribute name = "UUID" type = "ews:tstring36"
use = "optional"/ >
<s:attribute name = "Assoc ID" type = "ews:tAssoc ID"
use = "required"/ >
</s:complex Type >
</s:element >
```

3 基于 Web Services 的风电场监控通信系统设计

3.1 基于 Web Services 的风电场监控系统体系结构

本文基于 IEC61400-25 标准向 Web Services 通信协议的映射原理、Web Services 技术特点,完成了 Web Services 的风电场监控系统体系结构设计,如图 4 所示。

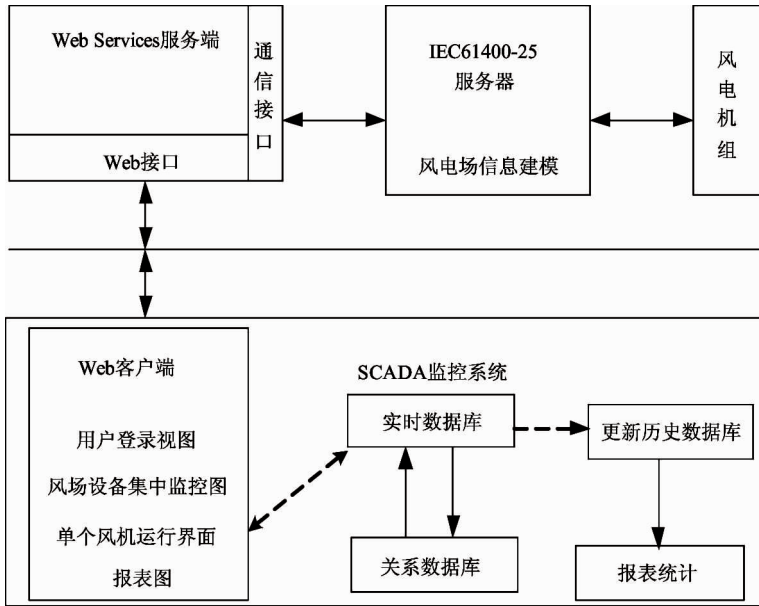


图 4 基于 Web Services 的风电场监控系统体系结构

由图 4 可以看出,整个架构由 IEC61400-25 服务器、Web Services 服务端以及 Web Services 客户端 3 部分构成。

(1) IEC61400-25 服务器:完成对风电场多种类型风机设备所生产的信息值的选取、归类、数据映射以及信息建模,令其完全符合 IEC61400-25 标准,为后续映射到 Web Services 协议做好准备工作。

(2) Web Services 服务端:通过调用 IEC61400-25 标准中定义的 ACSI 服务,将信息模型及信息交换模型映射至 Web Services 协议,并设置用于客户

机访问的 Web 服务接口。

(3) Web Services 客户端:风电监控与数据采集(SCADA)系统等多种客户应用,通过对标准的 Web 服务接口进行调用,对风电场内的设备进行就地或者在线实时远程监控。

3.2 Web Services 服务端设计

IEC61400-25 标准提出使用通信服务将模型映射于 Web Services 协议栈来实现报文传递,从而使风电机组能够和外部应用系统之间进行数据交换。本文设计了如图 5 所示的 Web 服务端模型。

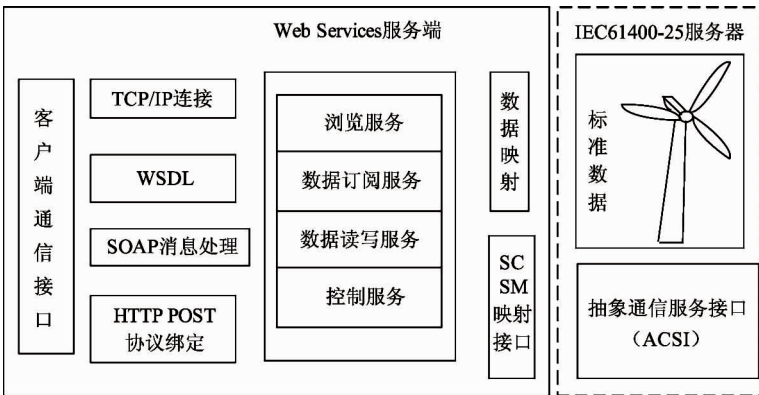


图 5 Web Services 服务端模型

对设计的服务器各个功能模块说明如下:

(1) ACSI 服务和标准数据库:由 IEC61400-25

服务器提供,并和 IEC61400-25 标准定义的信息模型及信息交换模型相符。

(2) 抽象通信服务(ACSI)接口:为服务器提供标准的服务,提供 ACSI 服务向 Web Services 协议栈映射的接口。本文的通信接口选用 Web Services 通信服务接口。

(3) 数据映射:实现 IEC61400-25 对象数据到 Web Services 对象数据的映射。

(4) 浏览服务:主要功能是完成对逻辑设备及逻辑节点等一系列访问请求的处理工作。

(5) 数据订阅服务:与报告类服务相关,首先客户端向服务器发送服务初始化请求,服务器一旦收到,便循环接收来自对方的 ReportRequest 请求,并返回 ReportResponse 响应。

(6) 数据读写服务:处理客户端对数据的读写请求,包含 Read 与 Write 服务。

(7) 控制服务:通过调用数据读写服务,配置相应数据类属性值进而完成控制服务,并且把事件报告发回客户机。

(8) 简单对象访问协议(SOAP)消息处理:打包处理服务端数据,将其封装成为 SOAP 消息。

(9) HTTP POST 协议绑定:将 SOAP 消息绑定到 HTTP 传输协议,使 Web 服务具有跨平台性。处理 HTTP 请求,解析 SOAP 请求,此外,使用含有 SOAP 的 HTTP 应答方式对远程过程调用消息请求进行回应。

(10) 网络服务描述语言(WSDL):基于 XML 格式语言,位于描述 Web 服务的架构的顶端,WSDL 文档详细地描述了服务地址、服务所支持的操作、以及完成这些操作过程中客户端与服务器间必须传递的消息及消息参数的编码等。

(11) TCP/IP 连接:运用 socket 套接字获得,对多个客户端的服务请求进行监听,并且进入阻塞状态,一旦再次收到新的请求消息,便迅速建立新的线程处理请求,主进程则再次监听并且进入阻塞状态。

3.3 Web 服务接口实现

本文中的 Web 服务接口包括实体接口与抽象接口两部分。实体接口负责定义服务绑定通信协议与地址。抽象接口负责定义服务所提供的操作以及调用操作过程中输入输出消息数据类型与封装方式。本文中以 GetDataSetValue 服务为示例,依照

IEC61400-25 标准,定义此服务接口,详细过程如下:

(1) 首先对风电场取数据值服务的请求数据与应答数据类型进行定义,构建具有 xml Schema 格式的全局数据模型,随后通过 GetDataSetValueRequest 复合类元素来表明取数据值请求消息的数据类型;并在此元素内对统一个性 ID 元素 UUID(universally unique identifier,通用唯一识别码)、数据对象引用元素 Reference、及关联 ID 进行封装。详细编码如下:

```
<s:elementname="GetDataSetValuesRequest">
  <s:elementname="Ref"
    type="ews:tFcdFcdaType"/>
  <s:attribute name="UUID"
    type="ews:tstring36" use="optional"/>
  <s:attribute name="AssocID"
    type="ews:tAssocID" use="required"/>
```

对服务请求数据类型定义之后,还需定义取数据值服务请求处理后的响应数据类型,其中包含定义用于表示取数据值响应消息的 GetDataSetValueResponse 复合类元素;数据引用的数据属性值 DataAttrVal;服务失败元素 ServiceError 及 UUID 与关联 ID。随后将数据引用的数据属性值封装在许许多个不同种类的通信协议的 message 元素内,分别为 GetDataSetValueSoapIn, GetDataSetValueSoapOut, GetDataSetValueGetIn, GetDataSetValueGetOut 等。之后要定义接口类型元素,实现协议,具体操作方法与 message 元素的关联,并且定义 binding 元素,分别为 GetDataSetValuesHttpGet, GetDataSetValuesHttpPost, GetDataSetValuesSoap。随后,对端口接口类型元素映射到 binding 进行设定,将基于相同通信协议的操作进行封装,最后将特定通信协议端口和一组操作之间相互绑定。

(2) 服务地址与协议的绑定:首先使 GetDataSetValue 服务绑定到多种通信协议,随后确定调用此种服务方法的详细地址,如下所示为相关的具体编码:

```
<service name="GetDataSetValues">
  <port name="GetDataSetValuesHttpPost" bind-
```



```
ing = "s:GetDataSetValuesHttpPost" >
< address location = "http://Lizyhost/WPP1/
DataServices/GetDataValues. asmx" / >
</port >
<port name = "GetDataSetValuesHttpGet" bind-
ing = "s:GetDataSetValuesHttpGet" >
<http:addresslocation = "http://Lizyhost/WPP1/
DataServices/GetDataSetValues. asmx" / >
</port >
<port name = "GetDataSetValuesSoap" binding =
"s:GetDataSetValuesSoap" >
< soap:address
location = "http://Lizyhost/WPP1/DataServices/
GetDataSetValues. asmx" / >
</port >
</service >
```

4 客户端模块的设计

为了使风机可靠性得到提高,更加快速掌握风机运行状态及故障信息,针对风电机组状态监测技术的研究获得很大关注。风电公司使用 SCADA 系统监控风机组件及其他设备的运行状态^[15]。SCADA 客户端通过调用 Web 服务器定义并且发布的服务对所需数据进行读取,通过监控界面将数据进行同步实时显示,实现集控中心对风电场的风电机组和测风塔等设备运行情况实时的掌握,根据界面显示实时掌握风电机组运行情况,对风电机组进行启停操作。同时将数据传送至关系数据库和历史数据库,实现数据关联以及历史存储。

服务端为服务的提供者,客户端即服务的请求者。从体系结构来说,客户端为系统的表示层。本文通过 C 语言编写应用程序来实现监控中心客户端的设计,对服务端的 Web 服务进行测试。

创建的用户登录界面如图 6 所示。

一般在所有服务请求之前,client Handling 类会检查客户端是否已经建立连接。通过以下代码实现:



图 6 用户登录界面

```
if(is Connected( Assoc ID))
{
//Performe requested operation
}
else
{
//Association not found.
client Handle Singleton. release Handle();
throw new Association Exeption();
}
```

客户端成功登录后,即可查询想要查询的风电场的风机数据信息。根据界面显示数据实时掌握风电场的风电机组和测风塔等设备运行情况,对设备进行启停操作。图 7 所示为某一风电场风机集中监控界面。在此界面可以看到风电场所有风机的运行情况,并将所有风机当前的运行参数实时地显示出来。该界面主要分为三个部分:汇总数据的显示、各个风机运行数据的列表显示、运行状况显示。汇总显示集中监控风场风机重要数据,例如:全场总有功、平均风速、年发电量、月发电量等。



图 7 风电场集中监控系统界面

通过点击某一风机即可进入该风机界面,即可查看单个风机的运行状态及运行数据,如图 8 所示。



图 8 单个风机监控界面

5 结 论

IEC61400-25 标准旨在为风电场的监控通信系统提供统一的信息交换标准。随着风电场规模不断扩大以及风力发电技术的快速发展,采用 IEC61400-25 标准解决不同制造商提供的风电设备与监控系统的兼容问题是势不可挡的发展趋势。本文依据标准构建了一种 Web Services 的风电场监控系统体系结构,并完成了 Web Services 服务端及 Web 服务接口的设计,并通过 SCADA 客户端与服务器的通信测试,验证了系统的有效性。同时,使得风电场设备和应用软件之间具有互联性、互操作性,实现了不同设备与监控系统间的信息共享以及远程监控中心对风电场设备的集中监视与控制,对风电场可实现“无人值班、少人值守、区域管理”的管理模式,规范了风场的日常事务管理,提高了人员的利用率,提升了管理水平和效率,减少了运营的成本,逐渐建立了一套安全可靠完整的运营管理模式体系。因此,该技术的实现对风电技术的发展具有重要的促进作用。

参考文献

- [1] 张磊,朱凌志,陈宁,等. 风力发电统一模型评述[J]. 电力系统自动化,2016,40(12):207-215
- [2] 姚良忠,朱凌志,周明,等. 高比例可再生能源电力系统的协同优化运行技术展望[J]. 电力系统自动化,2017,41(9):36-43

- [3] 黄必清,易晓春. 风电场工程建设管理信息系统[J]. 清华大学学报(自然科学版),2014,54(12):1580-1587
- [4] 王文卓,秦世耀,曲春辉. 基于面向对象建模的风电场监控系统研究与开发[J]. 电网技术,2013,37(10):2912-2919
- [5] 王涛. 数据共享与数据集交换系统的设计与实现:[硕士学位论文][D]. 大连:大连理工大学软件工程学院,2015.7-8
- [6] 何飞跃,刘纯,王伟胜. 基于 IEC61400-25 的智能风电综合控制系统设计[J]. 水电能源科学,2012,30(11):208-212
- [7] Xiang W Z, Chen R, Wang C. Design for smart monitoring and control system of wind power plants[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 846-847:195-198
- [8] 谢金娟,卢仁宝,程林志. 基于 IEC61400-25 标准的风电场 SCADA 系统建模及应用[J]. 自动化技术与应用,2014,33(3):29-33
- [9] 牛硕峰. 基于 OPC 技术的风电场监控系统研究:[硕士学位论文][D]. 北京:华北电力大学电气与电子工程学院,2012.7-10
- [10] 王耀东,张邦玲,江秀臣,等. 面向场站风储联合发电系统状态 CIM 描述模型[J]. 广东电力,2017,30(3):21-27
- [11] 丁晓赞,鲁丽萍,刘娟. 基于 IEC61400-25 的风电场远程集中控制系统[J]. 电力信息与通信技术,2016,14(8):82-86
- [12] 黄天聪,邓礼力,胡志远,等. 输变电设备物联网通信网络结构及拓扑分析[J]. 高电压技术,2015,41(12):3922-3928
- [13] 陈志伟,徐丙垠,韩国政. IEC61850 的 Web Services 映射及实现[J]. 电力自动化设备,2013,33(3):136-140
- [14] 郭朋. 基于 Web Service 的服务构件表示及其逻辑设计应用研究:[硕士学位论文][D]. 北京:中央民族大学信息工程学院,2017.6-7
- [15] 颜永龙,李剑,李辉,等. 采用信息熵和组合模型的风电机组异常检测方法[J]. 电网技术,2015,39(3):737-743

Design and implementation of a wind power farm's centralized monitoring system based on Web Services

Liang Tao^{*}, Liang Xiaoting^{*}, Li Guoqiang^{**}

(^{*} Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

(^{**} Shijiazhuang Institute of Science and Technology Information, Shijiazhuang 050000)

Abstract

In order to solve the fan data mapping and communication problem, this study is conducted from the aspects of information model, information exchange model, and the mapping of the two models to a specific protocol stack based on the international standard IEC61400-25. And on the basis of this, the structure of a monitoring and control system for wind farms based on Web Services is constructed. At the same time, the module structure of Web Services and the interface of Web Services are designed. Thus some key technological breakthroughs are realized, for example, the technique of unified monitoring. And the mutual communication problems between the different equipments in current wind farms are effectively solved to achieve a centralized monitoring of the wind field equipments. In the real sense, the optimal operation of wind farms is realized with the beneficial results of saving the investment and achieving the maximum benefit.

Key words: wind power farm, IEC61400-25, monitoring and control system, Web Services