

基于 GH Bladed 和 Matlab 的风电机组设计优化平台

殷明慧, 高云龙, 李伟杰, 杨志强, 周连俊, 邹 云

(南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210014)

摘 要: Bladed 软件包是风电仿真中可靠性较高的工具, 本文简述了其基本功能和典型业务流程, 包括风速条件建立, 稳态性能计算, 动态风况时域模拟三部分。同时针对其一人一机一密钥的工作限制提出了一个可以多人在线的风电机组设计优化平台, 大大提高了风电仿真效率。平台采用了 B/S 架构, 建立了基于 Matlab 的客户端, 通过库函数的调用修改 Bladed 配置文件, 同时建立基于 .Net 平台下的 Webservice 服务端, 提供 Bladed 计算函数的远程调用。

关键词: Bladed; 风速; 动态模拟; Webservice; 仿真

1 Bladed 的功能概述

Bladed 是针对陆上和海上风力发电机组设计和认证目的进行测试和和载荷计算的软件。软件包内部嵌入了风电行业的各类标准, 计算时直接对风机等参数进行选择修改即可, 不必建立数学模型。该软件内置使用的计算模型经过广泛实际测量验证并通过了相关的软件产品认证^[1]。

1.1 空气动力学

Bladed 提供的叶轮空气动力学模型是基于著名的叶素理论和动量理论的结合。另外通过这一理论的两个主要的扩展理论^[2]论作为可选项内置在软件代码中, 用于处理非稳态空气动力学特性。

1.2 多体结构动力学

Bladed 使用自相一致的结构动力学方程, 保证可靠的计算结果。软件内部的动力学模型的推导是借助计算机代数软件包, 应用能量守恒原理和拉格朗日方程来进行的。另外, 在 Bladed 中的风力机结构动力学的表达方式是基于模态模型的^[3]。

2 Bladed 的计算功能与业务流程

Bladed 包含 3 部分主要功能: 湍流风速的生成、稳态性能计算、动态风况模拟。计算之前需要对风机参数(叶轮、翼型、控制器等)和外部环境(风速条件、空气密度等)的参数进行定义。界面如图 1 所示。

2.1 风速条件的生成

风机模拟中, 风速模型的生成有至关重要的作用, Bladed 中提供四种形式的风速, 同时可选塔影

效应, 风剪切等。

1) No Variation

即固定风速, 仿真过程中风速、风向不变, 可以设定如下四个值: 对应为风速、风速定义的高度、风向、风速的倾角。

2) Single Point History

将风速简化为一个特定高度的单点风速, 风轮的整个迎风面上认为风速都是一致的, 但是其幅值和风向可以随仿真时间而变化, 通过设定时间上的风速和风向实现^[4], 点和点之间是线性处理的。

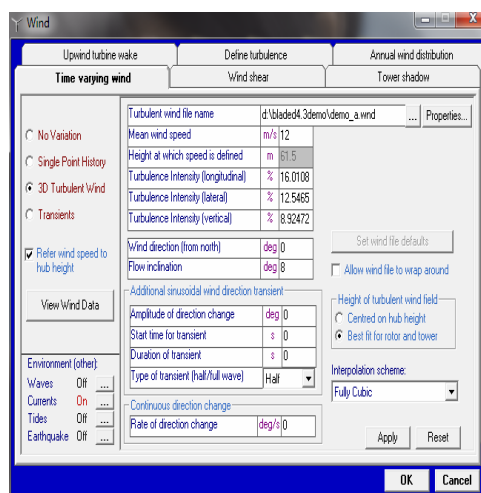


图 1 风速生成的界面图

3) 3D Turbulent Wind

湍流风速, 需要预先生成湍流风速文件并导入, 之后对风向、倾角及其暂态变化的参数进行设置即可。湍流风文件的生成通过“Wind Turbulence”计算项目可以对湍流风的一系列参数进行定义, 之

后便可以生成一个风文件用于仿真计算。这里所说的风模型,是在一个与风轮面平行的矩形面上设定若干个可以构成网格的采样点,每个采样点上存在一个时变的风速。可以将整个风速模型看作一个长方体块, Y、Z 方向构成风速采样的描述范围,而 X 轴构成时间轴,长方体上的每个点都存有某个确定的时间点确定的位置上的一个风速信息,如图 2 所示。进行仿真的过程相当于将这个长方体沿 X 轴方向推过风轮平面。建立风速模型时,要尽可能保证每个叶片上能够有 8 个风速采样点,以体现湍流特征(对于 MW 级风机,一般使采样点间隔为 5m)。并且在建立风速时,采样频率要大于 10Hz。另外湍流风速模型的频谱类型可选采用 Von Karman 模型、Kaimal 模型和 Mann 模型。

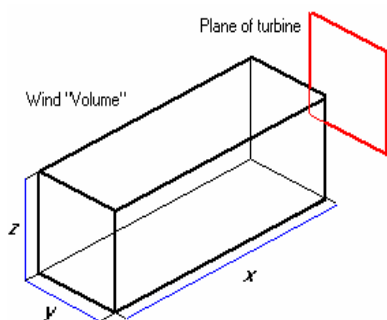


图 2 湍流风的三维坐标

4) Transients

暂态风速,用以考量风机在风速突变等极端情况下的运行状况。其设定起始风速,风速的幅值变化外提供变化时长及类型的设置。通过此暂态风速可以生成极限运行阵风 EOG(草帽风),除此之外风速的变化情况也可选择正弦波形式和半正弦波形式。

2.2 稳态计算内容

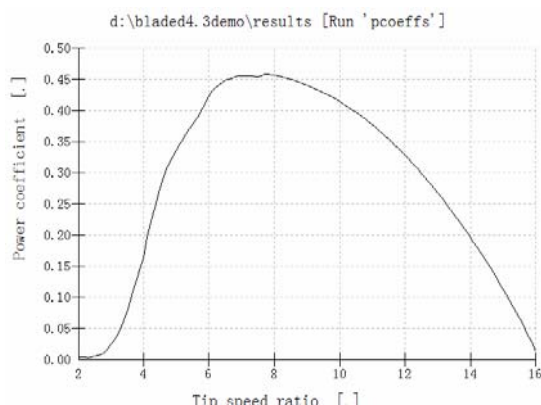


图 3 稳态计算生成 $C_p - \Lambda$ 曲线

稳态计算的主要内容包括:空气动力学信息、功率系数、稳态功率曲线、稳定运行载荷、稳定停机载荷等,这些都是非时域仿真,主要衡量风机的稳态运行性能,另外,稳态计算的部分结果可能会被其他计算作为输入文件。稳态计算所生成的曲线如图 3 所示。

2.3 动态风况模拟内容

动态风况的时域仿真主要包括:正常运行,启动,正常和紧急刹车,空转,停机,动态功率曲线等。

这部分是风机测试的典型业务,可以让计算模型在特定的风速模型下运行设定的时间,在这一段时间中可以预先引入叶片卡死,主控系统失灵等故障或风况的极限设定,之后进行仿真生成并输出整个过程中风机的各项实时运行状态,包括风轮转速、电功率、桨距角以及各项载荷等等。输出结果可以描述风机在某个工况(特定状态、特定外部条件)下的所有动态过程,用户可根据自身需要在结果中选择相应的变量加以查看或输出,这里 Bladed 提供一定功能的后处理技术,包括基本的统计数据、周期性分量分析、概率密度、峰值、水平交叉分析、频谱分析、相关性和传递函数分析、雨流和疲劳分析、变量的组合、年发电量计算、极限载荷(最恶劣工况下)、报表发布等功能。

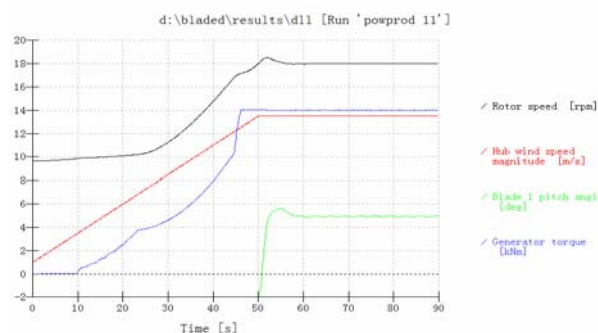


图 4 动态风况模拟中风机相关参数的变化图

典型业务流程:

Step 1: 设置动态模拟仿真所需要的风机结构和控制参数,与稳态计算的参数含义基本一致,这里不再提及;

Step 2: 设定仿真过程所使用的风速条件,即在“Time varying wind speed and direction”中按照 2.1 节中介绍的方法对风速条件进行设定;

Step 3: 调整计算参数,即在“Calculation Parameters”中调整仿真时长等参数以满足本次时域

仿真的要求;

Step 4: 运行仿真 (也可采用“Multiple Calculation Setup”进行批量处理);

Step5: 仿真结果分析和后期处理。相关参数变化如图 4 所示。

3 Bladed 中的用户自定义控制器

尽管 Bladed 提供完整的内置风机控制器,即包括正常发电也包括监控系统,但是在实际应用中不同的风力机制造上使用的控制算法有很大不同。控制器细节可能显著影响机组的载荷和性能,因此允许用户使用任何期望的控制算法是很重要,这里 Bladed 允许用户自定义控制器进行以下任务:

1) 叶片变桨和电机扭矩在整个运行范围内的控制,包括正常发电,正常和紧急停机,启动,空转和停机状态等;

2) 轴刹车和电机接触器控制;

3) 机舱偏航控制;

注意用户自定义控制器以离散时间步长运行,和多数实时控制器一样。内置控制器则以连续时间运行,但是也可用于与时间步长相等的近似离散控制器,只要时间步长不是太长。自定义控制器可用任何编程语言实现,即可以编译成 DOS 或者 Windows 可执行程序,该程序可对共享文件进行读写,也可编译成 32 位动态链接库程序。动态链接库相对更好,因为它的运行速度较快并且与 Bladed 的通讯方式更可靠^[5]。

4 基于 Bladed 构建风电机组设计优化平台

Bladed 的使用为单人单机单密钥模式,对于团队性的综合分析工作不便,难以同时供多人多机使用,对于实验室的仿真工作存在一定的不便性,同时对于 USB 密钥狗难以管理,因此考虑建立一个基于 Bladed 计算模型的网络化风机仿真平台,解决多人使用和团队分析困难^[6]的问题。

4.1 风电机组设计优化平台的提出

在上述问题的背景下,提出建立一个基于 Bladed 计算模型的网络化风机仿真平台。平台使用 B/S 架构的进行风机仿真平台整体设计,客户端基于 Matlab 设计,主要进行输入数据的修改和拟定,服务端基于 .Net 下的 C# 的设计,通过 Webservice 框架实现远程函数的调用。实现了 Bladed 的网络化

仿真平台建设。这样一方面可以简化对于软件的管理工作,另一方面可以通过对接口的设计简化,从而降低 Bladed 使用难度。

基于 B/S 架构的风电机组设计优化平台是对基于 C/S 架构的平台的一种改进的结构。在这种结构下,通讯在 Http 协议下完成,并使用 XML 进行数据的传递。通讯具有通用性,可以实现屏蔽平台和语言的差别,有良好的跨平台性。

基于 WebService^[7]的服务端设计,Webservice 是一个平台独立的,松耦合的,自包含的、基于可编程的 web 的应用程序,可使用开放的 XML 标准来描述、发布、发现、协调和配置这些应用程序,用于开发分布式的互操作的应用程序。

WebService 技术,能使得运行在不同机器上的不同应用无须借助附加的、专门的第三方软件或硬件,就可相互交换数据或集成。依据 WebService 规范实施的应用之间,无论它们所使用的语言、平台或内部协议是什么,都可以相互交换数据。WebService 是自描述、自包含的可用网络模块,可以执行具体的业务功能。WebService 也很容易部署,因为它们基于一些常规的产业标准以及已有的一些技术,诸如 XML 和 HTTP^[8]。Web Service 减少了应用接口的花费。WebService 为整个平台的集成提供了一个通用机制。

4.2 风电机组设计优化平台的框架设计



图 5 风电机组设计优化平台的整体框架

基于 Bladed 的风电机组设计优化平台由两部分组成,分别是基于 Matlab 的客户端,和基于 .Net

的 C# 的服务端^[9]。整体的框架结构如图 5 所示。

客户端部分：

客户端是基于 Matlab 构建的轻量级客户端，主要功能如下：

1) Matlab 库函数，支持修改用户提供的 Bladed 模板文件中的参数，由于 Bladed 内置的配置文件参数种类繁多，所以需要定位每一个参数的位置，制作对应参数的库函数，最终形成丰富的库函数。通过这些的库函数，使用户可以自由修改需要的参数。库函数还能够支持用户对多个 Bladed 仿真参数进行同步实时的修改，当进行多参数变化时，优势明显。当需要对多个参数进行步进值修改时，只需要调用相应的库函数，即可以完成修改，同时实时查看修改的效果。

2) Matlab 通讯函数，通过调用远程服务器上的 WebService 函数，Matlab 通过 http 协议与远程服务器建立连接，随后通过 XML 将指令发送给远程服务器，建立可靠连接之后，将修改后的配置文件发送至服务端，并通过 WebService 与服务端进行通信，启动计算函数，服务端调用 Bladed 进行计算，计算完毕之后，服务端将 Bladed 的输出文件夹进行打包处理，并通过 XML 打包文件返回给客户端，客户端接受到输出文件之后，进行相应的解包处理，将 Bladed 的输出文件置入到相应的文件夹内，实现了远程的 Bladed 计算。

3) Matlab 解析函数，通过对输出文件的解析，用户可以将一个或者多个感兴趣的输出量提取出来，解析函数支持直接将一个或者多个参数直接导入到 Matlab 的 WorkSpace 中，这样用户就可以对 Bladed 的输出文件的指定字段进行分析工作，如调用 plot 函数进行图形方面的分析等。

服务端是通过 .Net 框架下 C# 语言进行构建，通过使用 WebService 框架服务，向客户端提供计算服务，和远程函数调用。主要功能如下：

1) 输入数据函数，用于将用户将修改后的 Bladed 输入文件，包括配置文件，风文件，控制文件等一系列文件输入到远程服务器上，基于 WebService 编写，无需关心通讯函数的编写，降低了函数的编写难度，通过这个函数，在服务端上已经将 Bladed 所需要的全部输入数据准备好，等待下一步的启动计算。

2) Bladed 远程计算函数，通过 WebService 的支持，该函数可以直接被客户端调用，当客户端调用该函数时，首先进行函数内的数据检查，检测所有输入文件是否准备好，如未准备好，将返回相应的错误代码，当所有数据文件均准备好，服务端即启动 Bladed 程序进行相关的计算，所有的计算过程均在远程服务器完成，所以客户端并不需要密钥，即可实现计算。当计算完成后，返回计算成功指令。

3) 结果返回函数，用户等待远程服务器返回计算成功指令后，即可调用该函数，因为远程服务器上的 Bladed 计算结果有多个，所以首先将计算结果进行处理，将多个文件打包为一个文件，打包完成后，将整个输出文件返回用户，等待用户的 Matlab 解析函数进行相应的处理。

4.3 风电机组设计优化平台的工作流程

工作平台主要分为两部分：客户端和服务端。

客户端为使用者提供工作环境，包括逻辑存储的文件夹，库函数，需要的计算文件等，客户只需要提供 Bladed 格式的模板配置文件，通过库函数的调用完成参数的设置，修改，启动计算等功能，同时服务端完成计算将数据返回时，用户通过调用库函数对数据包进行一次解读和后期处理，方便用户进行参数分析处理等。

服务端的工作主要是建立通讯，接受客户端发送的数据文件并启动 Bladed 软件进行计算工作并返回数据包。具体流程如下，如图 6 所示。

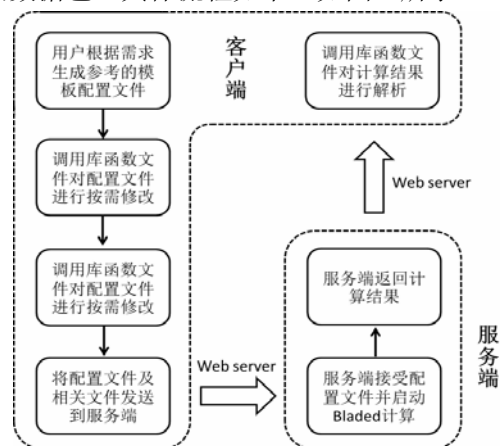


图 6 网络平台工作流程图

Step1: 用户在软件（服务端）帮助下生成需要的模板文件作为参考；

Step2: 用户在客户端直接使用库函数对模板文件进行需要的修改操作；

Step3: 修改完成后, 配置文件发送至服务端 (包括计算需要的其他文件如风文件、DLL 等, 其路径在配置文件中已设置, 所以配置文件是唯一的相关参数项);

Step4: 服务端计算完成后返回数据包, 返回的数据包根据之前配置文件中设定的输出路径进行存放;

Step5: 调用库函数对计算结果进行解析, 方便用户直接获取相关的运行参数信息 (例: 使用 `Get_wind_speed(Runname)`^[10] 直接可以获取风速的数组)。

5 结束语

Bladed 是具有广泛认可度的风电行业计算软件, 其计算模型值得信赖, 但是其在使用环节仍存在一定的不便性, 因此在基于其计算模型的基础上对其使用环节进行了二次开发, 以完成多人多机的在线式仿真功能, 提高软件的使用效率同时方便软件管理。

参考文献:

[1] Garrad Hassan & Partners Ltd. Bladed Theory

Manual[M].Version4.4.England, 2013.

[2] Garrad Hassan & Partners Ltd. Bladed User Manual [M].Version4.4.England, 2013.

[3] 周鹏展, 曾竟成, 肖加余, 等. 基于 BLADED 软件的大型风力机叶片气动分析 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2010(05):2022-2027.

[4] 张磊, 孙映光, 吕翔宙. 基于 Bladed 软件的风电机组变桨距控制系统设计 [J]. 河北工业大学学报, 2011, 06:11-15.

[5] 刘兴华, 敬维, 林威. GHBladed 和 Matlab 的交互软件设计及风力发电机的独立变桨控制器仿真研究 [J]. 中国电机工程学报, 2013(22):83-88+14.

[6] 陈传波, 夏义兵. 基于 ASP.NET 技术及三层网络架构的权限管理系统模型 [J]. 计算机工程, 2003, 12:101-102+178.

[7] 朱江, 宋关福, 钟耳顺, 等. 基于 WebServices 和 .NET 技术的新一代 WebGIS 研究与开发 [J]. 地理信息世界, 2004(02):17-20.

[8] 杨涛, 刘锦德. WebServices 技术综述——一种面向服务的分布式计算模式 [J]. 计算机应用, 2004(08):1-4.

[9] 吕曦, 王化文. WebService 的架构与协议 [J]. 计算机应用, 2002(12):62-65.

[10] 程炜, 杨宗凯, 乐春晖. 基于 WebService 的一种分布式体系结构 [J]. 计算机应用研究, 2002(03):105-107.

A Multi-user Platform for Wind Turbine Generators Design Based on Bladed and Matlab

YIN Ming-hui, GAO Yun-long, LI Wei-jie, YANG Zhi-qiang, ZHOU Lian-jun, ZOU Yun

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, Jiangsu Province, China)

Abstract: Bladed is a reliable integrated software package for wind turbine performance simulation. The paper sketches the fundamental function and the typical process of the software, including wind generation, steady calculation and dynamic simulation. Then, The paper presents a multiuser online platform for wind turbine design based on Bladed software package and increases the efficiency of simulation. Using B/S architecture, the platform establishes client based on matlab which modifies the configuration files of Bladed by calling library function, and server based on the .Net platform which provides calculation in the form of remote calls for client.

Keywords: Bladed, wind generation, dynamic simulation, B/S architecture, simulation platform