

# 基于 ICA - NN 的短期风功率预测研究

周 专<sup>1</sup>, 姚秀萍<sup>1,2</sup>, 王维庆<sup>1</sup>, 任 华<sup>1</sup>, 申盛召<sup>1</sup>

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 新疆电力调度通信中心, 新疆 乌鲁木齐 83002)

**摘要:** 随着风电大规模的接入电网, 风电对电网的影响越来越大。由于风电出力具有随机性、间歇性和不可控性, 导致风电对电网调度运行带来巨大的挑战。为了充分利用风电, 必须将风电由未知变为基本已知, 提高对风电出力的预测精度。提出一种基于帝国主义竞争算法的神经网络(ICA - NN)方法来提高短期风功率预测的精度。在该方法中, 首先, 建立一个基于多层感知器(MLP)人工神经网络的风速预测模型, 然后, 用帝国主义竞争算法优化神经网络中的权值。将该预测方法应用于新疆某风电场, 验证了该方法应用于短期风功率预测的有效性, 证明了该方法可以提高短期风功率预测的精度。

**关键词:** 帝国主义的竞争算法 - 神经网络; 数值天气预报; 短期风功率预测; 风电场

**Abstract:** With the large - scale access of wind power grid, the wind power has more and more influence on power grid. Because the wind power output is random, intermittent and uncontrolled, it brings the huge challenge to power grid dispatching and operation. In order to make full use of wind power, the wind power must be changed from unknown to known, and the prediction accuracy of wind power output should be improved. A neural network method based on imperialist competitive algorithm (ICA - NN) is presented to improve the accuracy of short - term wind power prediction. In this method, first of all, a prediction model of wind speed is established based on artificial neural network with multi - layer perceptron (MLP), and then, the weight values of neural network are optimized with the imperialist competitive algorithm. The prediction method has been applied to a wind farm in Xinjiang, which verifies its effectiveness in short - term wind power prediction, and proves that the proposed method can improve the accuracy of short - term wind power prediction.

**Key words:** imperialistic competitive algorithm - neural network; numerical weather prediction; short - term wind power prediction; wind farm

中图分类号: TM714 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2013)05 - 0005 - 04

## 0 引 言

随着风力发电技术的日益成熟, 风力发电已经在中国得到快速的发展。由于风机出力的随机性和波动性, 大规模风电接入对电力系统的运行调度产生了重要的影响<sup>[1-3]</sup>。对风电场的输出功率进行准确的短期预测对电力系统安全、经济运行以及电能质量都有重要的意义。

目前, 国内外对风电场的短期预测进行了大量研究, 提出了神经网络法<sup>[4-6]</sup>、卡尔曼滤波法<sup>[7-9]</sup>、时间序列法<sup>[10]</sup>、支持向量机<sup>[11]</sup>、小波分析<sup>[12]</sup>等, 但预测精度无法满足大规模风电接入系统的要求。其中神经网络算法和时间序列法是目前的研究热点, 预测精度相对其他算法较高。但由于前馈神经网络

基金项目: 国家自然科学基金项目(51267017)

(BP) 是弱学习算法, 存在过拟合特性, 泛化能力不强, 且容易陷入局部最优。运用时间序列分析法进行预测的前提条件是, 建立模型的时间序列是由一个零均值的平稳随机过程产生的, 即其过程的随机性质具有时间上的不变性, 但是风速具有较大的随机性和非平稳性, 很难达到时间序列分析法进行预测的要求。

针对目前算法预测精度不高的现状, 则提出一种新的帝国主义竞争算法的神经网络方法(ICA - NN)来提高短期的风功率预测的精度。帝国竞争算法是基于帝国主义殖民竞争机制的新优化算法, 由Esmaci受帝国主义殖民竞争历史现实的启发而提出了一种新的优化算法, 属于社会启发的智能计算方法。利用帝国主义竞争算法优化神经网络中的权值, 从而提高算法的泛化能力以及预测精度。通过对算例的验证分析, 基于帝国主义竞争算法的神经

网络预测方法在短期风功率预测中的精度较高。

## 1 帝国主义竞争算法概述

目前为止,优化算法已经提出了多种,例如,Holland 教授提出的模拟自然界遗传机制和生物进化论而形成的一种并行随机搜索最优化方法,即遗传算法,由 Eberhart 和 Kennedy 博士源于对鸟群捕食的行为研究而提出粒子群优化算法等,其都属于自然启发计算的一个分支,即生物启发的计算,而帝国主义竞争优化算法(imperialist competitive algorithm, ICA)是属于自然启发计算的另一分支,即社会启发的计算,基于帝国主义殖民竞争的机制新优化算法。它主要分为以下几个部分。

### 1.1 初始化帝国

在搜索空间内随机生成一些向量,这些向量称为国家,这些国家随机的分布在要搜索的空间里。

$$\text{Country} = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_m] \quad (1)$$

为了评价每个国家的势力大小,即在优化时找到最优解,在这里定义了代价函数为

$$\text{cost} = f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_m) \quad (2)$$

这些国家势力的大小通过一个代价函数来衡量。国家势力大小与代价函数值成反比,即代价函数值越小,国家势力越大。一定数量中势力较大的国家被选作帝国主义国家,剩下的国家作为殖民地国家。根据帝国主义国家势力的大小,把殖民地国家分配给帝国主义国家。

第  $n$  个帝国主义国家势力大小可以表示为

$$P_n = \left| \frac{C_n}{N_f} \right| \left| \sum_{i=1}^m C_i \right| \quad (3)$$

式中  $C_n$  为第  $n$  个帝国主义国家的代价函数。

则第  $n$  个帝国主义国家所占有的殖民地国家数量为

$$NC = \text{round}(P_n \cdot N_c) \quad (4)$$

其中  $N_c$  为殖民地国家总数。帝国主义国家和所占有的殖民地国家共同组成一个帝国。

### 1.2 同化政策

在现实世界里,帝国主义国家为了更好地控制其殖民地国家,把自己的文化及规则推广到殖民地国家,这个过程称为同化。在 ICA 算法中,即殖民地国家代表的搜索空间中的位置向帝国主义国家所

代表的位置靠近,随机移动一定的距离,沿两个位置连线所在的直线,指向帝国主义国家所在的空间位置。殖民地国家所在空间位置移动后,可能是一个更好的位置,因此有可能取代它所属于的帝国主义国家。

### 1.3 帝国主义国家间的竞争

正如社会历史事实,帝国主义国家通过占有别的帝国主义国家所属的殖民地国家来增加自己的势力。在 ICA 算法中定义了整个帝国的代价函数计算公式:帝国主义国家的势力加上其所有殖民地国家势力的平均值的一部分。

$$TC = C_n + \xi \text{mean}(C_{cm}) \quad (5)$$

其中  $C_{cm}$  为第  $m$  个殖民地国家的代价函数。竞争的结果是把总势力最弱的帝国中最弱的殖民地国家给最有可能占有它的帝国。

### 1.4 最弱的帝国灭亡

当一个帝国主义国家丧失了其所有的殖民地国家时,其所在的帝国覆灭。经过一定的时间之后,所有帝国中最强大的帝国保存下来,而且保存下来的最强大的帝国只有一个帝国主义国家和殖民地国家组成,这个帝国主义国家就代表最优解。

## 2 风功率预测模型

由于影响风电出力的因素有:风速、风向、湿度、温度及大气压力。因此在对风电出力进行预测时,需要考虑的因素很多。为了提高风电出力预测的精度不仅需要实用的预测方法,而且对风资源的数据要求也比较高。这里提出了使用 ICA - NN 的短期风功率预测方法,风功率预测模型中的基础数据来自数值天气预报。风电场中的每台发电机是通过一个 ICA - NN 黑盒进行模拟的,ICA - NN 是数值天气预报模型预测气象变量(比如风速、风向、湿度、温度和空气的压力)与风力发电机输出功率连接关系。将数值天气预报数据作为 ICA - NN 短期风功率预测的基础数据,最后的风电场出力的预测数值是所有 ICA - NN 黑匣子的一个预测的总和。预测模型如图 1 所示。

在这个模型的过程,从 SCADA 提供的信息和历史数据用于人工神经网络训练,用帝国主义算法优化神经网络中的权值,直到误差在合理的范围。

### 3 ICA 优化权值

神经网络是一种强大的数据建模工具,它能够表示复杂的输入/输出关系。最常见的神经网络模型是多层感知器(multi-layer perceptron, MLP);此外,还是用于预测目的最受欢迎的人工神经网络的类型。它通常是由输入层、隐含层和输出层组成,通过加权连接互联的。图2所示的MLP是一个原理图。

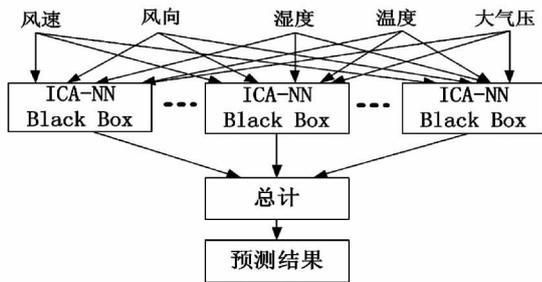


图1 基于ICA-NN的预测模型

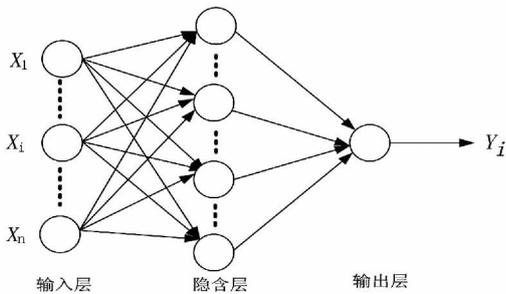


图2 多层感知器神经网络模型

$$Y_i = f_i \left( \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j + b_i \right) \quad (6)$$

式中,  $X_j$  是  $j^{\text{th}}$  的输入节点;  $Y_i$  为输出节点;  $W_{ij}$  是输入节点和输出节点之间的连接权;  $b_i$  是节点的偏斜点;  $f_i$  是节点传递函数。在这里均方误差(MSE)被定义为

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - Y_i)^2 \quad (7)$$

式中,  $T_i$  是  $i^{\text{th}}$  样本的目标值;  $Y_i$  是  $i^{\text{th}}$  样本中网络输出的预测值;  $N$  是训练集样本的数量。

正如上面提到的,多层感知器的神经网络是一种以算法为基础的前馈反向传播(BP)。BP算法执行是按照误差最小的梯度方向进行搜索。然而,BP算法速度快但是容易陷入局部最小。为了克服BP

算法缺陷,ICA采用了一种全局最优搜索算法。此外,ICA是不依赖于神经网络结构,而梯度计算方法很依赖网络结构。

所采用的预测方法中的ANN连接权值是由ICA的变量得到。均方误差(MSE)在ICA中作为目标函数。该方法的目的是使这个目标函数达到最小值。图4给出了预报系统的一个流程。

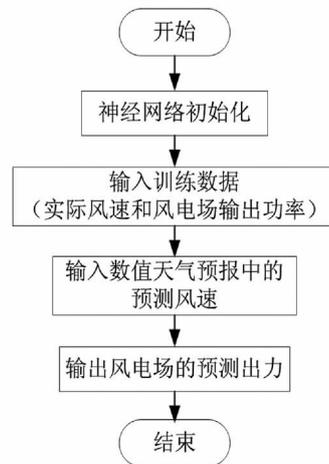


图3 帝国主义竞争算法神经网络预测流程

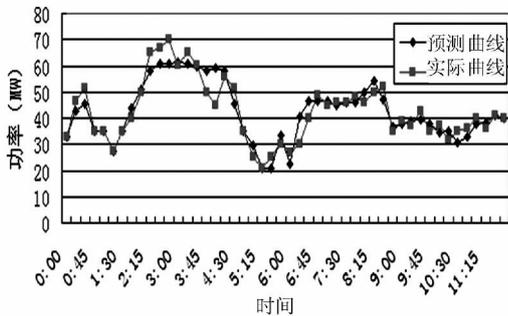
采用帝国主义竞争算法训练1个含有1个输入层、1个隐藏层和1个输出层的三层感知器神经网络。输入节点的数量设为81(在81输入节点中,第1个24输入代表未来24小时的预测风速,25~72输入节点代表前48小时风速,73~78输入节点代表之前48小时的温度、气压与湿度平均值,79~81输入节点代表未来24小时的温度、气压和湿度的预测平均值)隐含层设为5和输出层设为1。帝国主义国家和殖民地的数量分别设定为10和100。

### 4 算例分析

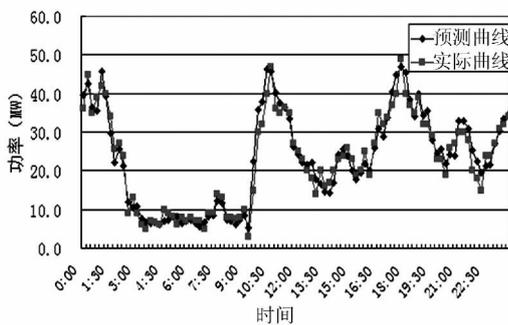
为了评价所提出的风功率预测方案的性能,用该方法预测新疆某风电场的风电出力。本次所采用的样本数据取自新疆某风电场现场数据,选取2012年9月1日至9月30日共30d的数据,采样间隔为15min,前27d的2592组数据作为训练样本,后3天的432组数据作为测试样本,建立风电场输出功率短期预测模型。图4分别为各时间段的预测曲线。

根据前面所建立的预测模型,对风电场的输出功率进行预测,把预测值和实测值相比较就得到预测的逐点误差,对误差序列作进一步分析,如图5所示。

从图5可以看出,用帝国主义算法优化后的神经网络预测误差基本上都在 $-20\% \sim 20\%$ 之间,满足国家对风功率预测精度的要求。同时通过图5可以看出,该预测方法的预测误差基本上符合正态分布。其误差大于 $30\%$ 的概率小于 $1\%$ ,误差大于 $10\%$ 的概率小于 $5\%$ ,误差基本分布在 $-10\% \sim 10\%$ 之间。



提前12小时的预测曲线



提前24小时的预测曲线

图4 预测曲线

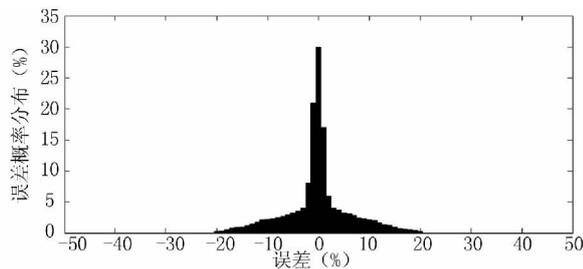


图5 预测误差分布

## 5 结论

重点研究了风电场出力的短期预测,提出了一种基于帝国主义竞争算法的神经网络短期风功率预测方法,利用帝国主义竞争算法优化神经网络中的权值,采用组合预测方法对风电场短期风功率预测进行了研究。并应用新疆某风电场的实测风速对所提出的短期风功率预测方法进行验证分析,结果表

明提出的短期风功率预测方法提高了预测的准确性,对接入风电场的电力系统运行调度有重要的实用价值。

### 参考文献

- [1] 张宏宇,印永华,申洪.大规模风电接入后的系统调峰充裕性评估[J].中国电机工程学报,2011,31(22):26-31.
- [2] 张丽英,叶廷路,辛耀中.大规模风电接入电网的相关问题及措施[J].中国电机工程学报,2010,30(25):1-7.
- [3] 吴俊,李国杰,孙元章.基于随机规划的并网风电场最大注入功率计算[J].电网技术,2007,31(14):15-19.
- [4] 肖永山,王维庆,霍晓萍.基于神经网络的风电场风速时间序列研究预测[J].节能技术,2007,25(12):106-108.
- [5] 范高峰,王伟胜,刘纯.基于人工神经网络的风电功率预测[J].中国电机工程学报,2008,28(34):118-123.
- [6] Li Shuhui, Wunsch D C, Giesselmann M G. Using Neural-networks to Estimate Wind Turbine Power Generation [J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2011, 26(3): 276-282.
- [7] Bossanyi E A. Short-term Wind Prediction Using Kalman Filters [J]. Wind Engineering, 1985, 9(1): 1-8.
- [8] 马静波,杨洪耕.自适应卡尔曼滤波在电力系统短期负荷预测中的应用[J].电网技术,2005,29(1):75-79.
- [9] 潘迪夫,刘辉,李燕飞.基于时间序列分析和卡尔曼滤波算法的风电场风速预测优化模型[J].电网技术,2008,32(7):82-86.
- [10] Kamal L, Jafri Y Z. Time Series models to Simulate and Forecast Hourly Averaged Wind Speed in Wuetta Pakistan [J]. Solar Energy, 1997, 61(1): 23-32.
- [11] 曾杰,张华.基于最小二乘支持向量机的风速预测模型[J].电网技术,2009,33(18):144-147.
- [12] 邵能灵,侯志俭,李涛.基于小波分析的电力系统短期负荷预测方法[J].中国电机工程学报,2003,23(1):45-50.

作者简介:

周专(1987),男,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制;

姚秀萍(1961),女,硕士生导师,高级工程师,研究方向为电力系统稳定与控制、调度自动化。

(收稿日期:2013-07-04)