

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.11.023

基于遗传算法优化神经网络的光伏发电预测

黄敏敏, 颜文俊*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对光伏发电系统输出电能随机性对电力系统的影响问题,对光伏输出功率预测方法进行了研究,提出了基于遗传算法优化 BP 神经网络的光伏预测模型。对光伏发电系统的历史发电量数据和气象数据进行了数学归纳,分析了天气类型、温度、太阳辐射强度等因素对光伏发电功率的影响。建立了基于遗传算法优化的神经网络光伏发电预测模型,提前一天进行了功率预测,且通过动态修正进一步提高了模型预测精度。运用 Matlab 为神经网络与遗传算法工具箱,对训练好的模型在不同日类型下进行了测试和评估,并与传统神经网络预测结果进行了对比分析。研究表明,利用遗传算法优化方法提高了神经网络模型预测光伏输出功率的精度,预测结果与实测结果之间的平均误差百分比减小,预测方法具有工程应用意义。

关键词:光伏发电;功率预测;遗传算法;神经网络

中图分类号:TM615

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)11-1509-04

Photovoltaic power forecast based on neural network optimized by genetic algorithm

HUANG Min-min, YAN Wen-jun

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the influence of output fluctuation of photovoltaic power generation system on the grid, the methods of system output power forecast was researched. A neural network power prediction model optimized by the genetic algorithm was proposed. To find the influencing factors, the relevance between output power and meteorological data was analyzed. The BP neural network model improved by genetic algorithm was established to forecast power output one day in advance. The dynamic correction was used during the prediction to improve model accuracy. Based on the Matlab toolboxes, the trained model was put into use under different weather types, and the data was compared to the results of traditional method. The results indicate that the apply of genetic algorithm optimization is helpful to improve the precision of the neural network model and that the percentage of average error between the prediction results and measured results decreases. The proposed forecasting method has significance in engineering applications.

Key words: photovoltaic (PV) power generation; power prediction; genetic algorithm; neural network

0 引 言

提高短期光伏发电预测水平是光伏电站并入电网系统关键问题,对提高太阳能光伏发电开发利用、保证并网安全也具有重要意义。

短期光伏功率预测方法可分为两大类:①首先对太阳辐射进行预测,然后根据光电转换效率得到输出

功率的间接预测法(物理法);②直接预测输出功率的直接预测法(数学统计法)。对于间接预测,文献[1-2]通过地基云图分析云团对太阳的遮挡情况,提高对光照强度的预测准确度,进而预测光伏电站功率输出。对于直接预测法,文献[3]提出基于马尔可夫链预测光伏电站出力的模型和实现方法。文献[4]利用自回归滑动模型(ARMA)预测并网光伏电站的晴天

收稿日期:2015-06-16

作者简介:黄敏敏(1989-),女,安徽滁州人,主要从事新能源发电及并网技术方面的研究。E-mail:huangmm0523@126.com

通信联系人:颜文俊,男,博士,教授,博士生导师。E-mail:wj.yan@126.com

出力。文献[5-7]主要运用神经网络及其改进算法对光伏发电功率进行短期预测。

基于以上研究,本研究以浙江大学台州研究院光伏并网发电实验平台为研究对象,通过分析光伏发电量与光照强度、气温、天气类型因子之间的相关性,建立基于遗传算法优化 BP 神经网络的光伏发电功率预测模型,提前一天预测光伏输出功率。利用遗传算法对 BP 神经网络进行优化,改善 BP 神经网络收敛速度慢以及易陷于局部最优问题,提高预测模型精确度。文章最后将所建立预测模型与两种光伏输出功率工程计算模型进行比较,评价预测精度。

1 影响光伏发电因素

笔者研究的光伏并网发电系统实验平台位于浙江大学台州研究院(东经 121.26°,北纬 28.40°),系统在最大功率点处输出功率 4 kW。虽然系统输出功率处于不断波动中,但是当系统安装完成后,其发电量有一定分布规律性。因此历史气候数据与发电量数据对于光伏预测具有重要作用。

1.1 光照强度影响

光伏系统的电能来自于太阳光照,因此光照强度是系统出力大小的决定因素。2015 年 4 月 1 日 8:00~17:00 逐时光照强度与系统输出功率之间关系图如图 1 所示。光照强度与光伏发电功率有显著的对应关系如图 2 所示。早上和傍晚光照强度低,功率小;10:00~14:00 光照强度高,输出功率明显增大。

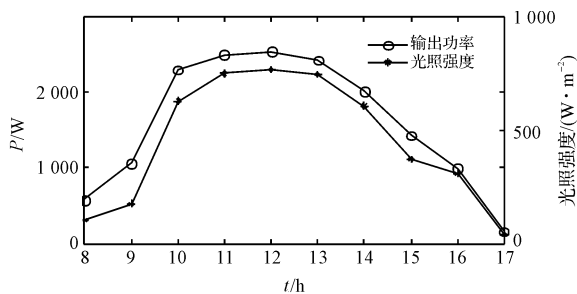


图 1 光照强度与系统输出功率图

1.2 温度影响

光伏发电系统受温度的影响主要表现在太阳能电池电性能随温度的变化而变化。因此必须考虑温度的影响。

1.3 天气类型

影响光伏出力的因素还有大气湿度、云团、日出日落时间、日照长短等,可以将这些因素归为天气类型因素。大致分为晴天、阴天(多云)、雨天 3 种类型。在本研究中将天气类型数值化,晴天天气类型因子设为 0.9,阴天(多云)设为 0.3,雨天设为 0.1。

为进一步确定气象因素对光伏出力的影响,笔者利用 Matlab 多元线性回归函数分析光照、温度、天气因子对输出功率的权重,设回归方程为:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 \quad (1)$$

式中: y —光伏输出功率; $[x_1, x_2, x_3]$ —光照强度、气温、天气类型因子; $(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ —回归系数。

笔者选取 2015 年 3 月至 4 月间 156 组数据,在显著性水平 0.05 下运行得到回归系数 $b = (\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (499.03, 3.51, -6.09, -253.51)$, $R^2 = 0.93$, $F = 635.42$, $P = 0.00$ ^[8]。结果表明因变量输出功率与光照强度、温度以及天气因子之间的相关性较强。

2 光伏预测模型

基于对影响光伏发电功率因素的统计分析,本研究确定光照、气温、天气类型因子为影响系统功率预测的主要因素,拟采用遗传算法优化的 BP 神经网络预测光伏功率。

2.1 神经网络与遗传算法

BP (Error Back-Propagation) 神经网络,即误差反向传播神经网络,它通过误差反向传播实现了对网络权重的调整。但该模型有两个明显的缺点:一是易于陷入局部极小值;二是收敛速度慢。而遗传算法 (Genetic Algorithm) 具有全局寻优的能力^[9-10],因此本研究将遗传算法与 BP 神经网络相结合,在 BP 神经网络运行过程实现遗传算法对权重和阈值寻优方法。GA + BP 算法流程如图 2 所示。

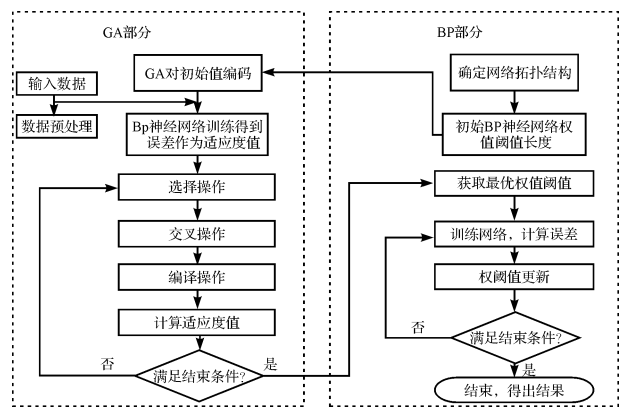


图 2 GA + BP 算法流程图

2.2 预测模型

本研究建立光伏系统输出功率提前一天预测模型。首先笔者从历史样本中选取 7:00~18:00 逐时光照强度、温度、天气类型、发电功率数据,训练并建立预测模型。然后将预测日天气类型、逐时太阳辐强度和温度预测数据作为模型的输入变量,输出变量为对应

的预测日 7:00~18:00 光伏阵列逐时预测发电量。发电预测系统结构如图 3 所示。

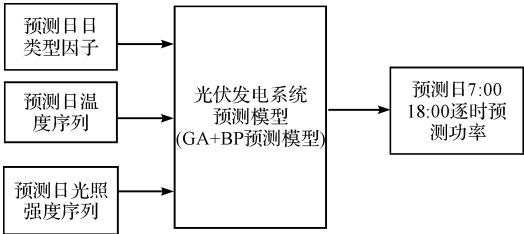


图 3 光伏发电预测结构图

光照强度预测量采用与预测日类型相同的近 5 个工作日光照强度每小时平均值。预测日类型因子和预测日温度实时数据可直接从气象预报网站获得,目前对于次日的温度预测已经可以做到逐时预报。

3 算例与结果分析

3.1 算例验证

本研究在 Matlab 中运用遗传算法、神经网络算法工具箱函数建立预测模型。实验样本来自于浙江大学台州研究院 4 kW 光伏系统观测数据。笔者选取 2015 年 3 月、4 月每日样本数据:7:00~18:00 逐时光照强度、温度、天气类型、发电量数据。

静态神经网络模型用于在线时间序列的预报时具有局限性,即网络的泛化能力有限,且模型不能不断地适应新增样本的变化。为了进一步提高模型准确度,在预测中运用在线动态修正方法^[11]。在获得新增样本数据之后,通过比较预报值与实际值之差的绝对值是否大于敏感因子 ε ,决定模型是否需要修正。在本研究中,考虑光伏系统的容量大小及误差允许范围,设置 $\varepsilon = 100 \text{ w}$ 。

运用 GA + BP 算法训练的光伏模型测试结果如图 4 所示,误差最大百分比为 16.1%,平均误差百分比

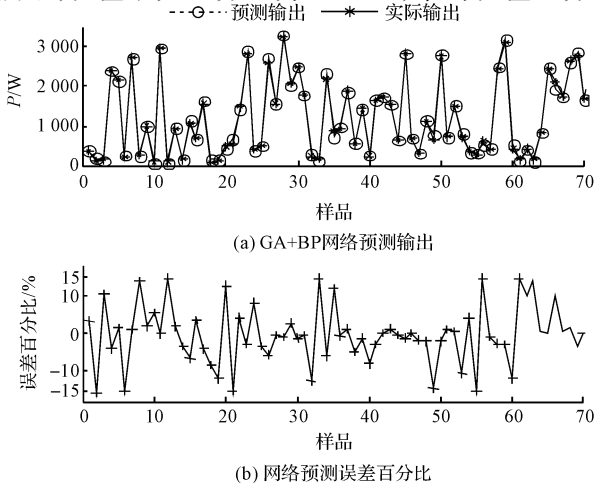


图 4 优化神经网络测试结果图

MAPE^[12]为 5.43%。传统 BP 网络模型测试结果图如图 5 所示,误差最大百分比为 -57.2%, MAPE 为 19.01%。结果表明利用遗传算法对 BP 神经网络进行优化,可有效提高预测模型准确度。

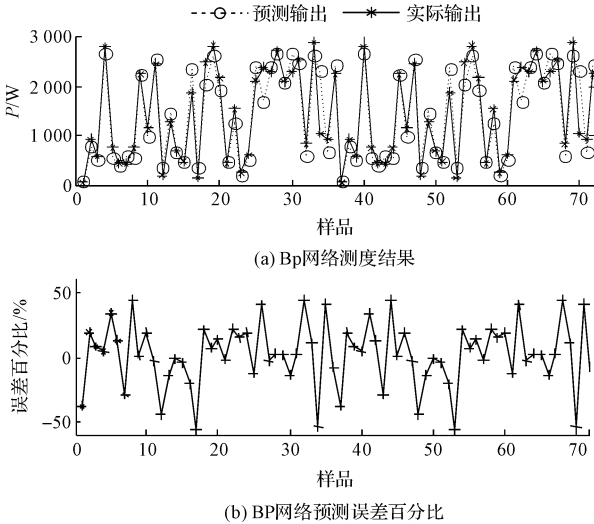


图 5 传统 BP 神经网络测试结果图

本研究运用优化模型对 2015 年 4 月 30 日进行逐时功率预测。该日白天为晴天,由气象网站获得逐时温度预测数据。光照强度预测数据取 4 月 15、16、17、21、22 日 5 个晴天日逐时数据平均值,结果如表 1 所示。最大相对误差为 23.88%,MAPE 为 6.55%,其中早上 7:00 与傍晚 18:00 误差较大。

表 1 GA + BP 网络预测结果

时刻	光照预测 (w/m ²)	温度预报 /℃	功率实测 /w	网络预测 值/w	相对误差 /%
7:00	56	17	536	492	8.21
8:00	258	18	1 134	1 082	4.59
9:00	527	19	2 698	2 510	6.97
10:00	681	20	2 853	2 696	5.50
11:00	701	21	2 980	2 884	3.22
12:00	772	23	3 042	3 111	-2.27
13:00	677	25	2 751	2 613	5.02
14:00	562	28	2 296	2 405	-4.75
15:00	350	26	1 519	1 592	-4.81
16:00	202	24	954	906	5.03
17:00	48.9	22	228	238	-4.39
18:00	21.2	20	134	102	23.88
MAPE%					6.55

3.2 对比分析

为进一步比较模型预测精度,本研究将所建立基于历史数据的神经网络预测方法与基于气象预报的光电转换预测法进行对比,评估模型预测性能。工程上对于光伏输出功率的光电转换计算有模型 1^[13-14]:

$$P_{PV} = \eta_g SI [1 - 0.005 (t_0 + 25)] \tag{2}$$

式中： η_g —光伏阵列转换效率； S —光伏板的有效面积， m^2 ； I —太阳辐射强度， W/m^2 ； t_0 —大气温度。以及模型 2^[15]：

$$P_{PV} = \eta_g SI [1 - \gamma(t_0 - 25)] \tag{3}$$

式中： γ —光伏电池的功率温度系数，相对于标准条件 25℃，一般由厂家提供。

该实验平台所用光伏电池型号为 ESPSA200(参数如表 2 所示)，数量为 20。笔者分别运用这两种模型对 4 月 30 日光伏发电功率逐时预测，采用表 1 中光照强度与温度数据，预测结果如表 3 所示。通过对比表 1 与表 3 数据，得出笔者提出的用遗传算法优化神经网络模型对于光伏系统发电预测的准确度较高，优于基于气象预测的光电转换预测模型。且通过比较表 3 这两种光电转换计算模型发现，模型 2 的准确度明显高于模型 1。因此在工程计算或者建模中模型 2 优于模型 1。

表 2 光伏板参数

型号	最大功率	面积/ m^2	转换效率	温度系数
ESPSA200	200 W	1.580×0.808	15.7%	-0.43%

表 3 工程模型预测结果

时刻	功率实测 / w	模型 1 预 测值/ w	相对误差 /%	模型 2 预 测值/ w	相对误差 /%
7:00	536	177	66.98	217	59.56
8:00	1 134	812	28.40	1 003	11.54
9:00	2 698	1 648	38.92	2 058	23.72
10:00	2 853	2 116	25.83	2 671	6.37
11:00	2 980	2 164	27.38	2 762	7.32
12:00	3 042	2 352	22.68	3 086	0.85
13:00	2 751	2 035	26.03	2 714	1.35
14:00	2 296	1 656	27.87	2 282	0.61
15:00	1 519	1 045	31.20	1 409	7.24
16:00	954	611	35.95	806	15.49
17:00	228	150	34.21	193	15.14
18:00	134	66	50.75	83	37.94
MAPE%			34.68		15.60

4 结束语

为实现光伏系统输出功率预测，本研究通过对实验平台历史数据的分析，确定光照强度、温度、天气类型为主要影响因素。笔者对于提出的采用遗传算法优化神经网络的光伏发电功率预测方法进行了详细阐述，并且运用在线动态修正网络进一步提高了预测模

型的准确度。
本研究通过实际的实验算例详细阐明所提出的预测方法，实验结果验证了方案的合理与优越性，为电网调度与安排光伏电站的运行方式提供了数值依据。最后对比分析两种工程光电转换模型的准确度，对于工程上光伏预测及建模有一定的实用意义。

参考文献 (References) :

[1] 陈志宝,李秋水,程 序,等. 基于地基云图的光伏功率超短期预测模型[J]. 电力系统自动化,2013,37(19):20-25.

[2] 陈志宝,丁 杰,周 海,等. 地基云图结合径向基函数人工神经网络的光伏功率超短期预测模型[J]. 中国电机工程学报,2015,35(03):561-567.

[3] 丁 明,徐宁舟. 基于马尔可夫链的光伏发电系统输出功率短期预测方法[J]. 电网技术,2011,35(1):152-157.

[4] 兰 华,廖志民,赵 阳. 基于 ARMA 模型的光伏电站出力预测[J]. 电测与仪表,2011,48(2):31-35.

[5] ALMONACID F, RUS C, PEREZ P J, et al. Estimation of the energy of a PV generator using artificial neural network [J]. **RENEWABLE ENERGY**,2009,34(12):2743-2750.

[6] HIYAMA T, KITABAYASHI K. Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information [J]. **IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION**,1997,12(3):241-246.

[7] 陈昌松,段善旭,殷进军. 基于神经网络的光伏阵列发电预测模型的设计[J]. 电工技术学报,2009,24(9):153-158.

[8] 李光明,刘祖明,何京鸿,等. 基于多元线性回归模型的并网光伏发电系统发电量预测研究[J]. 现代电力,2011,28(2):43-48.

[9] 段侯峰. 基于遗传算法优化 BP 神经网络的变压器故障诊断[D]. 北京:北京交通大学电气工程学院,2008.

[10] 任谢楠. 基于遗传算法的 BP 神经网络的优化研究及 Matlab 仿真[D]. 天津:天津师范大学计算机与信息工程学院,2014.

[11] 邓兴升,王新洲. 动态神经网络在变形预报中的应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2008,33(1):93-96.

[12] 朱永强,田 军. 最小二乘支持向量机在光伏功率预测中的应用[J]. 电网技术,2011,35(7):54-59.

[13] 楼海星,姚 维. 基于无差拍的光伏并网系统电流控制策略[J]. 轻工机械,2015,33(1):68-72.

[14] 王守相,张 娜. 基于灰色神经网络组合模型的光伏短期出力预测[J]. 电力系统自动化,2012,39(19):37-41.

[15] ALMONACID F, RUS C, PEREZ P J, et al. Estimation of the energy of a PV generator using artificial neural network [J]. **RENEWABLE ENERGY**,2009,34(12):2743-2750.

[编辑:张 豪]

本文引用格式: