

注：黑龙江省大学生创新创业训练计划项目（No. 201910214056）

摘要：光伏发电输出功率受多种外界环境因素影响，存在着发电功率随机性和产能过剩的问题。针对这一问题，在分析传统 BP 神经网络的基础上提出了基于遗传算法优化 BP（Back Propagation）神经网络的光伏预测模型。对温度、风速、压强、湿度和太阳辐射强度数据进行归纳分析，运用 Matlab 神经网络和遗传算法工具箱建立了基于 GA-BP 光伏预测算法的发电模型，并通过大量数据对算法进行训练，使得预测值与实际值误差达到最小，最后通过电路的实物搭建对该方法进行验证。该方法能提高对太阳能的利用率，同时为国家大型发电站并网问题提供参考。

关键词：光伏发电；神经网络；遗传算法；功率预测

中图分类号：TK514

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2020)07-0038-05

收稿日期：2020-05-11

基于 GA-BP 光伏预测算法小型 太阳能发电系统设计

刘元博 王英立 张薇

哈尔滨理工大学，测控技术与通信工程学院，黑龙江哈尔滨 150080

一、引言

能够提高短期的太阳能发电预测水平是光伏并网的关键性问题，同时也能实现高效率的利用太阳能，保证并网安全的目的。光伏发电预测方法可以分为两大类：一类是直接预测光电系统输出功率的直接预测法（统计法），直接预测只需要光伏输出历史值，不需要周围环境的值，这种方法容错率较高，但对于建立模型的难易程度降低；另一类是首先对太阳辐射进行预测，然后根据光电转换效率得到光电输出功率的间接预测法（物理法），间接预测对历史数据的依赖较低，但对模型的建立要求较高，需要对当地数据非常了解^[1]。光伏电站只能白天发电，而且光伏功率易受不确定外界因素（如天气类型、温度、湿度、气压、风速及空气质量指数等气象、环境因素）的影响，出力特性具有很强的随机性、间歇性及波动性。而且光伏发电系统大规模并网带来的高渗透率问题会给电力系统的规划、运行和控制带来挑战^[2]。基于以上研究，

本文对通过分析光伏发电功率与辐射量、温度、湿度、风速、压强因子之间的相关性，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，同时进行以 STM32 为核心外接温度、湿度、压强、风速、辐射度的传感器进行实测，通过算法输出结果与实物电路实测结果进行对比来评测该算法精确度。

二、光伏预测模型

基于对影响光伏发电功率因素^[3-5]的统计分析，本研究确定光照、气温、风速、气压、湿度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。为进一步确定气象因素对光伏出力的影响，通过斯皮尔曼等级（Spearman）相关系数来衡量影响因素与发电功率的依赖性，它利用单调方程评价两个统计变量的相关性，相关系数记为 ρ ，本文选取 2018 年 1 月到 12 月间 60 个样本进行分析。

用 Matlab 软件进行计算得出温度、辐射强度、湿

度、压强、风速的相关系数依次为 0.6084、0.6865、0.1270、-0.6084、-0.0648。

温度、辐射强度、湿度与输出功率呈正相关，压强、风速与输出功率呈负相关，其中风速和湿度对输出功率影响较小。

1、BP 神经网络

一个三层的 BP 神经网络结构如图 1 所示，主要由三部分组成，即输入层、隐含层和输出层。在其学习过程中有正向传播和反向传播两种方式^[6]。正向传播让信息在相应权值、阈值和激活函数的作用下传递到输出层，当输出的结果和期望值的误差大于给定精度时，则将误差反向传播。误差返回的过程中，网络修正各层的权值和阈值。如此反复迭代，最后使传递信号的误差达到允许精度^[7]。

在网络训练中，正向传播的隐层（或输出层）的表述为：

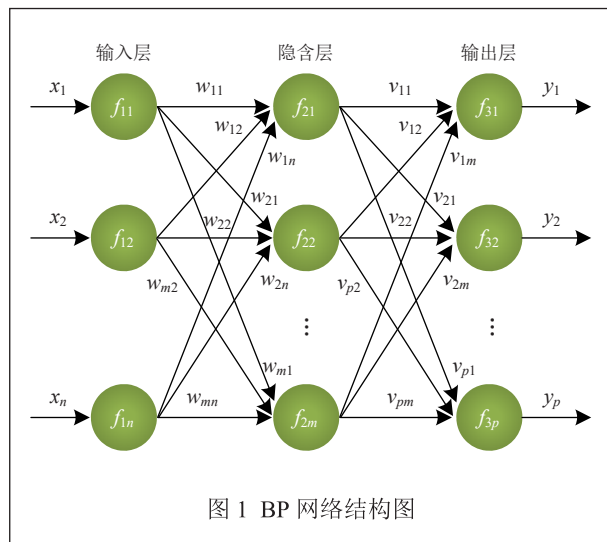
$$o_{kj} = f_j \left(\sum_i a_{ji} o_{ki} + \theta_j \right) \quad (1)$$

式中， f_j —第 j 个激活函数，一般为 S 型的函数；

a_{ji} —前一层的第 i 个神经元对当前层的第 j 个神经元的权值；

θ_j —当前层的第 j 个神经元的阈值；

o_{kj} —第 k 个样本在当前层的第 j 个神经元上的信息输出；



o_{ki} —第 k 个样本在当前层的第 i 个神经元上的信息输出。

2、遗传算法

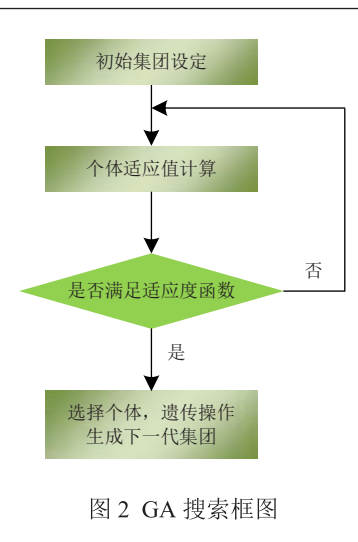
遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识并自适应地控制搜索过程，从而得到最优解的通用搜索算法之一。其主要优点是简单、通用、鲁棒性强，适用于并行分布处理，应用范围广。GA 是一种随机的全局多点搜索算法。图 2 为搜索过程的直观描述。

三、算法的改进

BP 神经网络使用的是最速下降法，最速下降法逼近极小点的路线是锯齿形的，并且越靠近极小点收敛速度越缓慢，在学习过程中可能收敛于局部极小点。遗传算法从许多点开始并行操作，而非局限于一点，因而可以有效地防止搜索过程中收敛于局部最优解。在使用时，先利用遗传算法的全局搜索性能找到问题的最优解所在区域，再利用误差反向传播方法找到其最优解^[1]。GA-BP 算法流程图如图 3 所示。

1、算法的实现

建立关于太阳能发电功率的神经网络预测模型，GA-BP 神经网络预测与 STM32 调整输出。通过对大量的数据样本进行处理后送入神经网络，经过大量数据训练后的神经网络在送入新的数据后，能将所



需预测时间段对应的功率预测数据输出，达到功率预测的目的。STM32 将会收到各个时段的预测数据，通过 STM32 对 DC/DC 模块与 DC/AC 模块的控制，将系统真实输出功率稳定在预测值附近，达到稳定输

出功率的目的。

2、电路实现

系统由太阳能发电装置、数据采集控制核心端和 PC 机三大部分组成。使用包括 MCU（STM32 中心控制模块）、调压模块、逆变模块与 MCU 进行连接

组成的一个闭环电路，该闭环电路的数据采集结果对预测系统的预测结果进行修正，以此来达到与电网相匹配的程度。MCU 连接到调压模块和逆变器模块，MCU 利用 GA-BP 算法预测，根据预测来调整调压模块及逆变模块，其中调压模块让光伏发电电压维持稳定输出，逆变模块通过 MCU 连接，

按一定的规则对各脉冲的宽度进行调制，即可改变逆变电路输出电压的大小，也可改变输出电压及相位，调整出与电网相匹配的电力参数。

(1) 电压电流功率模块：电压电流功率模块用来检测电压电流和功率值，传输到 STM32，STM32 根据修正值控制调压器调压。

(2) DC/DC 模块：DC/DC 模块用来稳定光伏发电的电压，使其能够达到电压稳定输出传给 DC/AC 模块。

(3) 预测模型：基于 GA-BP 神经网络的短期光伏发电预测模型。

四、数据处理

本研究收集了北京市 2018 年各个月份的天气数据，将每个月的平均数据作为样本加入到遗传算法优化后的 BP 神经网络中。

通过算法预测后的数据对比如表 1 所示。

通过基于遗传算法优化的神经网络的预测结果如图 5 所示。

本文通过采集大量的历史数据对算法进行验证，验证后的算法可以根据本实验装置测得历史天气数据来预测未来某天的太阳能发电功率。经过实验发现，误差大约在 18% 左右，在允许的误差范围内。

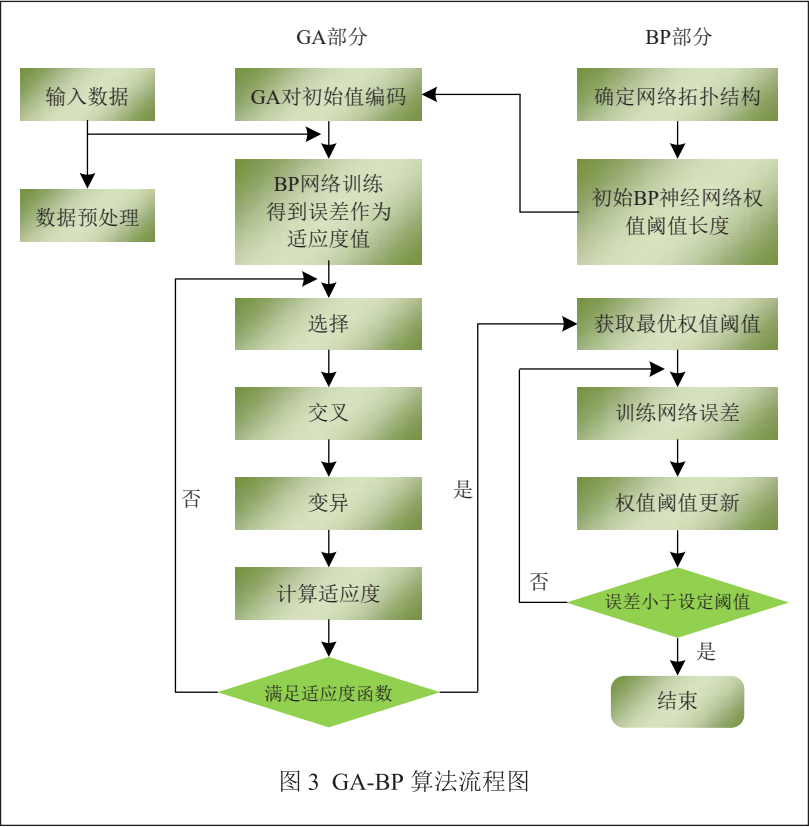


图 3 GA-BP 算法流程图

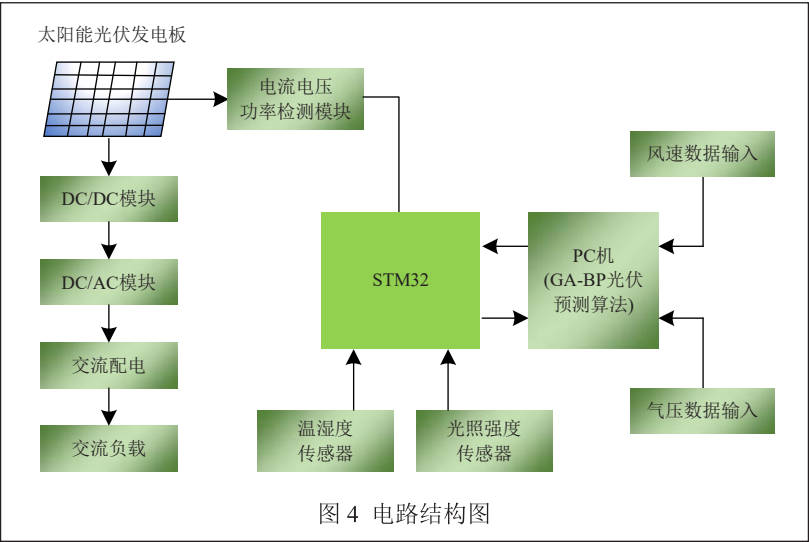


图 4 电路结构图

表 1 数据对比表

时间 / 发电量	实际值 / 亿千瓦时	预测值 / 亿千瓦时	预测误差 / 亿千瓦时
1 月	65.2	70.0332	-4.8332
2 月	66.2	71.3487	-5.1487
3 月	78	81.4587	-3.4587
4 月	77	79.0246	-2.0246
5 月	77.5	81.3229	-3.8229
6 月	79.2	82.5102	-3.3102
7 月	77.2	76.3997	0.8003
8 月	75.2	79.6441	-4.4441
9 月	71	74.3832	-3.3832
10 月	79.5	80.5628	-1.0628
11 月	70.5	69.6021	0.8979
12 月	62.4	68.1338	-5.7338
MSE(%)		13.1792	

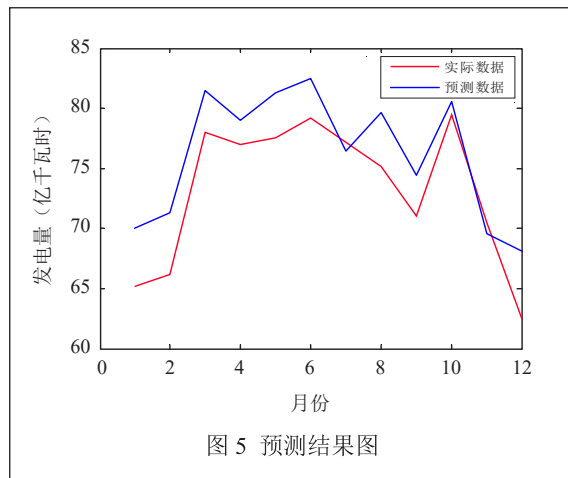


图 5 预测结果图

五、总结

本文设计实现了一种基于 GA-BP 算法的小型太阳能发电系统, 相对于 BP 神经网络有较高的精度。加上遗传算法优化, 降低了神经网络陷入局部最优的可能性, 是因为它通过单独优化权重和阈值, 在全局尽可能的找到最小误差值, 这也就避免了 BP 神经网络的局部收敛可能性, 提高了精准度。但是该算法也具有一定的局限性, 比如在实现过程中, 经过多次试验才可能找到适用于目标的适应度函数; 在迭代的过程中, 迭代次数只能确定在某一个区间内, 无法知道具体哪一代是最优解等问题还亟待研究与解决。

本文将算法与实际电路相结合, 通过 MCU 对数据的分析及对各个模块控制, 实现对于太阳能光伏发电板的发电功率预测, 对于大型的国家电网系统也具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 崔洋, 孙银川, 常倬林. 短期太阳能光伏发电预测方法研究进展 [J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1474-1481.
- [2] 王洪坤, 葛磊蛟, 李宏伟, 等. 分布式光伏发电的特性分析与预测方法综述 [J]. 电力建设, 2017, (7): 1-9.
- [3] Monteiro C, Fernandez-Jimenez L A, Ramirez-Rosado I J, et al. Short-Term Forecasting Models for Photovoltaic Plants: Analytical versus Soft-Computing Techniques [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013, (1): 1-9.
- [4] 刘娟, 杨俊杰. 基于改进的 GA-BP 神经网络光伏发电短期出力预测 [J]. 上海电力学院学报, 2018, 34(1): 9-13.
- [5] 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.
- [6] 黄建国, 罗航, 王厚军, 等. 运用 GA-BP 神经网络研究时间序列的预测 [J]. 电子科技大学学报, 2009, (05): 209-214.
- [7] 傅荟璇等编著. MATLAB 神经网络应用设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

Design of Small Solar Power Generation System Based on GA-BP Prediction Algorithm

LIU Yuan-bo, WHANG Ying-li, ZHANG Wei

(Institute of Measurement and Control Technology and Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Due to the effects of various external environmental factors on the output power of photovoltaic power generation, there are problems of randomness of power generation and excess capacity. To solve this problem, based on a analysis of the traditional BP neural network, this paper proposes a photovoltaic prediction

model to optimize BP (Back Propagation) neural network by genetic algorithm. This paper summarizes and analyzes the data of temperature, wind speed, pressure, humidity and solar radiation intensity. Using Matlab neural network and toolbox of genetic algorithm, the power generation model of GA-BP photovoltaic prediction algorithm is established, and a large number of data are used to train the algorithm to minimize the error between the predicted value and the actual value. Finally, the method is verified by circuit simulation. This method can improve the utilization rate of solar energy and provide a reference for the interconnection of large power stations in China.

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

作者简介

刘元博: 哈尔滨理工大学测控技术与通信工程学院, 本科生, 研究方向为通信工程。

通信地址: 天津市西青区张家窝镇社会山北苑

邮编: 300380

邮箱: 1220617881@qq.com

王英立: 哈尔滨理工大学测控技术与通信工程学院, 博士, 副教授, 研究方向为仪器仪表、通信工程。

张薇: 哈尔滨理工大学测控技术与通信工程学院, 本科生, 研究方向为通信工程。