

基于自然选择的改进粒子群优化MPPT算法

光伏阵列在非均匀光照条件下的输出具有非线性、多峰值的特点。针对目前传统粒子群优化MPPT算法（PSO算法）易陷入早熟收敛及在迭代后期搜寻能力下降的缺陷，首次提出将基于自然选择机理的改进粒子群算法运用到光伏最大功率点寻优当中。新算法通过对迭代过程中适应度低的粒子进行淘汰和替换，使粒子群在迭代过程中具有更佳的寻优能力和求解速度，并大大减少了算法早熟收敛的情况。经过Matlab建模仿真及实验验证，验证了基于自然选择的改进粒子群算法比传统PSO算法拥有更好的最大功率点追踪效果。

徐 岩^{1,2} 梁大为¹ 李春来³ 杨立滨³/1.华北电力大学（保定）电气与电子工程学院 2.华北电力大学（保定）新能源电力系统国家重点实验室 3.国网青海省电力公司电力科学研究院

0 引言

目前，光伏（PV）装置在不同的光照及温度条件下输出呈现非线性特点^[1]，因此通常有必要对光伏阵列进行最大功率点追踪（MPPT）^[2]。

传统MPPT方法包括了扰动观察法、电导增量法及最优梯度法等^[3]，还有一些多策略结合方式，如短路电流结合扰动观察法、改进电导增量法等^[4]。这些方法在均匀光照条件下表现出了较好的性能。然而PV阵列在复杂光照下输出曲线出现多峰。传统的追踪方法易陷入局部最优解，因此需要不依赖于梯度而直接寻优的智能MPPT算法。现阶段国内外主流的智能MPPT算法主要有粒子群优化算法（PSO算法）^[5-6]、遗传算法（GA算法）^[7]和人工鱼群算法^[8]等。其中粒子群算法以其实现简单、求解速度快的优点

应用最广。

然而在输出峰值较多时，传统的粒子群优化算法易出现早熟收敛并陷入局部极值点。近年来出现的改进粒子群算法如混沌粒子群算法^[9]、模拟退火粒子群算法^[10]等大多较为复杂。本文借鉴自然选择粒子群算法^[11]的思想，首次提出将自然选择机理融入传统MPPT粒子群算法，并通过Matlab仿真及试验验证了此法较传统MPPT粒子群优化有更快的寻优速度及更好的全局搜索能力。

1 光伏阵列的输出特性

1.1 单一光伏组件的基本特性

太阳能光伏组件是一种非线性的光电半导体转换装置，由于有旁路二极管的存在，组件的输出特性可用如下的电流方程表示^[12]

$$I = I_{PH} + I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q}{nKT} (U + IR_s) \right] - 1 \right\} \quad (1)$$

式中， I 、 U 为组件的输出电流和输出电压； n 为二极管特性因子； I_{PH} 为光生电流； I_0 为暗饱和电流； T 为组件表面温度； K 为玻尔兹曼常数； q 为元电荷； R_s 为组件串联内阻。

其输出功率电压特性曲线如图1所示。

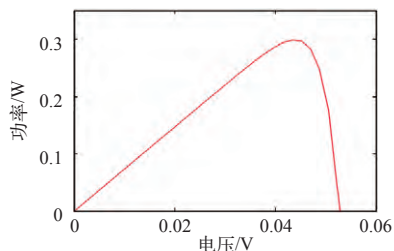


图1 单一组件输出特性



徐 岩/副教授

关键词/Keywords

光伏阵列 ·
MPPT ·
非均匀光照 ·
改进粒子群算法 ·
自然选择 ·

青海省光伏发电并网技术重点实验室项目（2014—Z—Y34A）。

1.2 光伏阵列输出的多峰特性

光伏阵列往往由多个光伏组件经串并联混合而成。在均匀光照下各组件处于同一光强并产生相同的光生电流，串联组件的输出特性与组件本身的特性一致。然而在非均匀光照条件下，各组件由于所受光照不同而产生不同的光生电流及电压，整体的输出呈现为多峰特性。

对于仅由两个光伏组件1和组件2串联而成的阵列，假设其中组件1受均匀光照而组件2受到遮挡， I_{PH1} 、 I_{PH2} 分别为两组件光生电流，则在电流区间 $(0, I_{PH2})$ 内，阵列输出方程为^[13]

$$U = \frac{nKT}{q} \left[\ln \left(\frac{I_{PH1} - I}{I_0} + 1 \right) + \ln \left(\frac{I_{PH2} - I}{I_0} + 1 \right) - 2IR_s \right] \quad (2)$$

而在电流区间 (I_{PH2}, I_{PH1}) 内，阵列输出方程为

$$U = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_{PH1} - I}{I_0} + 1 \right) - IR_s \quad (3)$$

运用Matlab仿真，在温度为25℃，组件1和组件2的光生电流分别为7.34 A和4 A的条件下可得出阵列的输出特性，如图2所示。

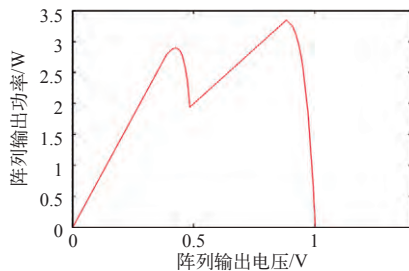


图2 非均匀光照下串联组件输出特性

由图2可以看出，在非均匀光照条件下光伏阵列的输出功率具有多个极值点，传统的MPPT算法很容易陷入某个局部极值点中，因而无法实现最大功率点追踪。

2 阵列最大功率点模型

根据文献[14]所建立的太阳能电池数学模型，可得组件在串联情况下阵列输出功率的表达式为

$$P = \sum_{i=1}^2 \left\{ \ln \left[\left(1 - \frac{I}{I_{sci}} \right) \frac{1}{C_1} + 1 \right] C_2 V_{oc} \right\} I \quad (4)$$

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sci}} \right) \exp \left(- \frac{V_m}{C_2 V_{oc}} \right) \quad (5)$$

$$C_2 = \left(\frac{V_m}{V_{oc}} - 1 \right) \left[\ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right]^{-1} \quad (6)$$

式中， V_m 、 I_m 为各组件最大功率点对应的电压和电流， V_{oc} 、 I_{sc} 为各组件的开路电压和短路电流。

显然，该方程不易于直接求解。本文基于自然选择改进粒子群算法，实现对上述阵列模型的最大功率点求解。

3 基于自然选择机理的改进粒子群MPPT算法

粒子群优化算法最早由Eberhart博士和Kennedy博士发明，是一种源于鸟类捕食行为模型的进化计算技术。在PSO算法中， N 维搜索空间里的每一个粒子 i 都具有一个由被优化的函数所决定的适应值 (Jitness Value) 及决定其飞行方向和距离的速度矢量。同时，所有粒子都知道自身所发现的最优位置 (个体极值) 及目前群体所发现的最优位置 (全局最优解)。在迭代过程中，粒子根据个体极值和全局最优解的情况不断更新自身位置和速度，其更新公式为^[15]

$$v_{i,j}^{t+1} = wv_{i,j}^t + c_1 r_1 (p_{i,j} - x_{i,j}^t) + c_2 r_2 (p_{g,j} - x_{i,j}^t) \quad (7)$$

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + v_{i,j}^{t+1} \quad j = 1, 2, \dots, d \quad (8)$$

式中， x 、 v 为粒子位置和速度矢量； w 为惯性权因子； c_1 、 c_2 为正的学习因子； r_1 、 r_2 为0~1之间均匀分布的随机数； d 为空间维度； $P_{i,j}$ 、 $P_{g,j}$ 为个体极值和全局最优值。

由于粒子群算法在迭代后期搜寻能力开始下降且易于出现早熟，目前改进算法的思路一般是在粒子群迭代后期加入新的算法程序以改善其后期寻优能力，并更好地跳出局部极值点。将自然选择机理与传统粒子群MPPT算法相结合，其核心思想为将每一次迭代过程中群体内适应值较好的一半粒子替换掉适应值较差的另一半粒子，同时保留每个粒子所记忆的历史最优解。由此，MPPT过程中的粒子种群通过不断替换进化，有效降低了陷入早熟收敛的可能性，同时提升了粒子种群的搜寻速度和寻优准确度。

该算法可用图3所示的流程图表示。

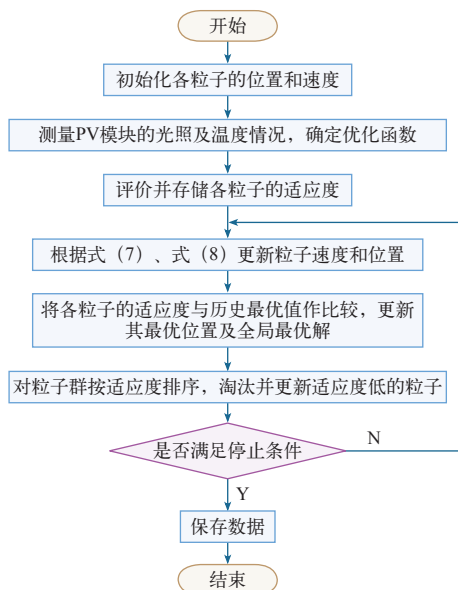


图3 自然选择改进粒子群算法的MPPT流程图

4 建模结果分析

根据以上算法分析，运用Matlab软件对传统粒子群算法和自然选择改进粒子群算法进行建模仿真对比。取标准实验温度（25℃），光伏组件在标准光强（1 000 W/m²）下的短路电流为7 A，开路电压为0.6 V。仿真中集中式光伏阵列受到不均匀的光照，其光照条件如表1所示。5个光伏阵列相互串联，每个阵列包含10个串联的光伏组件，各阵列均处于恒定且相同的实验温度下。

表1 仿真中各阵列光照条件

阵列	1	2	3	4	5
光强密度/(W/m ²)	3 000	2 250	1 500	1 000	750

运用两种算法分别对集中式光伏阵列进行最大功率点追踪，仿真中两种算法的粒子种群规模均取50，最大迭代次数为60次，粒子的学习因子 c_1 、 c_2 均为2，惯性权重取0.9。在仿真中，两种方法的最大功率点追踪结果如图4所示。

由图4可见，基于自然选择的改进粒子群优化算法在陷入局部极值点后能很快地跳出，并最终实现MPPT全局寻优，而传统PSO算法则出现早熟收敛现象并陷入局部极值点中。

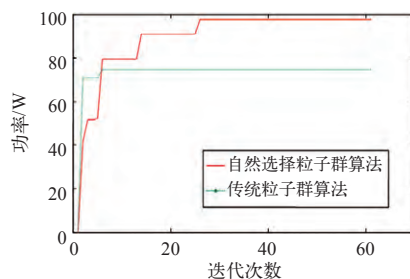


图4 两种算法MPPT仿真对比

5 实验验证

图5为实验原理图。试验中所采用的光伏组件在标准条件下的短路电流为2 A，开路电压为9.6 V，输出功率为15 W。MPPT控制部分由Boost升压及控制电路构成，其中DSP采用德州公司的TMS320F2812芯片。

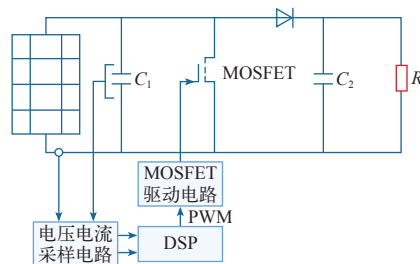


图5 实验电路图

光伏阵列受到不均匀的光照，其光照条件如表2所示。实验中五个光伏阵列相互串联，每个阵列包含两个串联的光伏组件，各阵列均处于恒定且标准的实验温度下。

表2 实验中各阵列光照条件

阵列	1	2	3	4	5
光强密度/(W/m ²)	3 000	2 700	2 000	1 200	300

实验结果如图6所示。

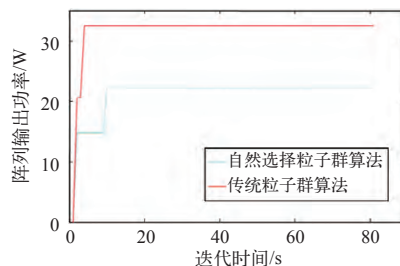


图6 两种算法MPPT实验结果

由图6可以看出,传统PSO算法陷入了局部最优解之中,而改进算法则迅速找到全局最优解,且功率输出更为平稳,证明实际运行时光伏阵列在该MPPT改进算法下具有更好的寻优速度和求解稳定性。

6 结束语

针对非均匀光照条件下光伏阵列的输出多峰特性,以及基本粒子群算法后期寻优能力较弱且易出现早熟收敛的特点,提出了将自然选择机理与传统MPPT粒子群优化算法相结合的新MPPT方法,并通过Matlab仿真及实验对新算法和传统粒子群算法进行了对比。由结果可见,该新方法可以较传统粒子群MPPT优化算法更快、更稳定地搜寻到复杂光照环境下光伏阵列的最大功率点,同时能更好地避免早熟收敛。另外,此方法不仅适用于非均匀光照条件,亦可应用于一般的均匀光照情况,具有良好的普适性。

参考文献

- [1] 赵争鸣,陈剑,孙晓瑛.太阳能光伏发电最大功率点跟踪技术[M].北京:电子工业出版社,2012.
- [2] Carrasco J M, Franquelo L G, Bialasiewicz J T, et al. Power electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: a survey [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53 (4): 1002-1016.
- [3] 陈剑,赵争鸣,袁立强,等.光伏系统最大功率点跟踪技术比较[J].清华大学学报:自然科学版,2010,50(5):700-704.
- [4] 董密,杨建,彭可,等.光伏系统的零均值电导增量最大功率点跟踪控制[J].中国电机工程学报,2010,30(21):48-53.
- [5] Masafumi Mayatake, Mummadi Veerachary, Fuhito Toriumi, et al. Maximum power point tracking of multiple photovoltaic arrays: a particle swarm optimization approach [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2011, 47 (1): 367-380.
- [6] Kashif Ishaque, Zainal Salam, Muhammad Amjad, et al. An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27 (8): 3627-3638.
- [7] 何龙,程树英.基于遗传算法和扰动观察法的MPPT算法[J].现代电子技术,2009(24):199-202.
- [8] 庞科旺,刘维亭.基于改进人工鱼群算法的光伏系统MPPT研究[J].太阳能学报,2014,35(10):2010-2014.
- [9] 陈阳,唐培和,徐奕奕.结合混沌粒子群的分布式最大功率点跟踪[J].广西科技大学学报,2015,26(2):41-46.
- [10] 杨洁,蒋林,蹇清平,等.基于模拟退火粒子群优化的光伏多峰最大功率跟踪算法[J].计算机应用,2014,34(S1):330-333.
- [11] 徐俊俊,黄永红,王琪,等.基于自然选择粒子群算法的含DG接入的配电网无功优化[J].电测与仪表,2014,51(10):33-38.
- [12] 程泽,董梦男,杨添凯,等.基于自适应混沌粒子群算法的光伏电池模型参数辨识[J].电工技术学报,2014,29(9):245-252.
- [13] 吴小进,魏学业,于蓉蓉,等.复杂光照环境下光伏阵列输出特性研究[J].中国电机工程学报,2011,31(增刊):162-167.
- [14] 王雨,胡仁杰.基于粒子群优化和爬山法的MPPT算法[J].太阳能学报,2014,35(1):149-153.
- [15] Patel H, Agarwal V. Matlab-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23 (1): 302-310.

(收稿日期:2015-08-25) **EA**