

# 领地粒子群算法在光伏最大功率跟踪的应用

石季英<sup>1</sup>, 凌乐陶<sup>1</sup>, 薛 飞<sup>2</sup>, 秦子健<sup>3</sup>, 刘文安<sup>4</sup>, 杨 挺<sup>1</sup>

(1. 天津大学电气自动化与信息工程学院, 天津 300072; 2. 宁夏电力公司电力科学研究院, 银川 750001;  
3. 山东莱芜市供电公司, 莱芜 271100; 4. 山东淄博市供电公司, 淄博 255299)

**摘 要:** 在深入研究光伏阵列在局部遮蔽条件下的特性曲线后, 提出一种基于电压区间的功率最大值范围估计策略; 并在粒子群算法基础上, 赋予每个粒子领地属性后, 设计一种领地式迭代策略, 提出一种领地粒子群最大功率点追踪算法。该算法能在局部遮蔽条件下快速找到全局最大功率点。仿真和实验结果均证明, 与原始粒子群算法相比, 领地粒子群算法能缩短追踪时间 50% 以上。

**关键词:** 太阳能电池; 局部搜索; 最大功率点追踪; 粒子群优化

**中图分类号:** TK513.5

**文献标识码:** A

## 0 引 言

光伏最大功率点跟踪技术(maximum power point tracking, MPPT)是实现太阳能充分利用的重要技术<sup>[1,2]</sup>。国内外学者利用光伏阵列的外特性提出过许多 MPPT 算法。传统算法有扰动观察法<sup>[3]</sup>、电导增量法<sup>[4]</sup>、比例系数法<sup>[5]</sup>等。当光伏阵列处于局部遮蔽产生多个局部峰值时, 通常采用智能算法实现全局 MPPT。其中主要包括粒子群算法<sup>[6-12]</sup>(particle swarm optimization, PSO)、布谷鸟算法<sup>[13,14]</sup>、萤火虫算法<sup>[15]</sup>和蚁群算法<sup>[16]</sup>等, 但对比传统算法, 智能算法快速性较差。为提高追踪速度, 文献[6]提出变惯性权重系数 PSO 算法以平衡算法的全局搜索和局部搜索; 文献[7]根据光伏阵列特性提出粒子初始位置优化方案; 文献[8]提出变局部参数  $c_1$  和变全局参数  $c_2$  的 PSO; 文献[12]舍弃 PSO 的随机项以提高搜索速度。这些改进的 PSO 能实现全局搜索, 但追踪时间缩减幅度仍有限。文献[17]提出一种基于扰动观察法和 PSO 的混合算法, 追踪时间则能比原始 PSO 缩短 35% 以上。

为进一步改善 PSO 的快速性, 并适应复杂的光照条件, 本文提出一种基于电压区间的功率最大范围估计策略。此外, 赋予每个粒子领地属性后, 设

计领地式迭代策略, 继而提出领地粒子群算法(territorial PSO, TPSO)。该算法在前期采用领地式迭代策略, 能迅速缩小搜索区域从而缩短追踪时间。另外, 该算法在各种条件下均能快速完成全局最大功率点追踪。

## 1 光伏阵列的多峰曲线分析

当光伏阵列局部表面被阴影遮蔽时, 会产生热斑效应。为防止热斑效应损坏电池, 通常会在光伏电池板的输出端口反并联二极管。受到局部遮蔽的光伏电池的二极管便会导通, 使得整个光伏阵列的  $P-U$  曲线呈现多个局部峰值。本文以  $5 \times 2$  光伏阵列为例(阵列有 2 条并联支路, 每条支路上有 5 块电池板串联), 对其多峰特性进行仿真分析。仿真模型中, 各模块参数采用 MSX-60 的参数, 并假定所有模块的参数相同。短路电流  $I_{sc} = 3.8 \text{ A}$ , 开路电压  $U_{oc} = 21.1 \text{ V}$ , 最大功率点电流  $I_m = 3.5 \text{ A}$ , 最大功率点电压  $U_m = 17.1 \text{ V}$ 。参考光照为  $1000 \text{ W/m}^2$ , 参考温度为  $25^\circ\text{C}$ 。光伏阵列各支路所受的光照强度分别为: 支路 S1: 900、900、700、300、200  $\text{W/m}^2$ , 支路 S2: 800、700、650、300、100  $\text{W/m}^2$ 。光伏阵列与其支路的特征曲线如图 1 所示, 遮蔽情况下其特征曲线均呈现多峰。

收稿日期: 2017-04-05

基金项目: 国家重点研发计划(2015AA050202); 国家自然科学基金(61571324); 天津市自然科学基金重点项目(16JCZDJC30900); 国际科技合作专项(2013DFA11040)

通信作者: 薛 飞(1994—), 男, 硕士、工程师, 主要从事主动配电网规划与优化运行、新能源发电技术方面的研究。tjuxf1010@126.com

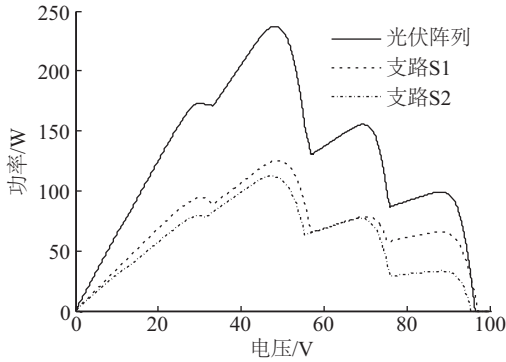


图1 光伏阵列特性曲线

Fig. 1 Characteristic curves of PV array

## 2 领地粒子群算法在光伏 MPPT 中的应用

### 2.1 原始粒子群算法

光伏 MPPT 智能算法中应用最广的是粒子群算法。粒子群算法中每个粒子有 3 个参数,即粒子的当前位置、速度和方向。在迭代更新粒子的位置时,每个粒子的位置由当前该粒子的历史最优值  $P_{\text{best}}$  和整个群体的粒子最优值  $G_{\text{best}}$  所决定。第  $k+1$  次迭代时第  $i$  个粒子速度  $v_i^{k+1}$  和位置  $x_i^{k+1}$  的更新方程为:

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 r_1 (P_{\text{best}} - x_i^k) + c_2 r_2 (G_{\text{best}} - x_i^k) \quad (1)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2)$$

式中,  $k$  —— 迭代次数;  $\omega$  —— 惯性权重;  $c_1$ 、 $c_2$  —— 正常数,分别用于调整个体经验和群体经验的比重;  $r_1$ 、 $r_2$  ——  $(0,1)$  之间的随机数。

### 2.2 任意电压区间最大值范围估计策略

由图 2 可知,每个串联支路的电流  $I$  都随着电

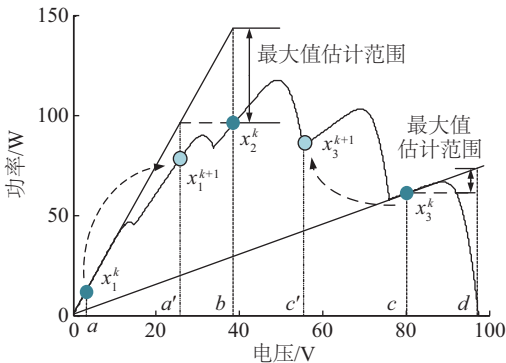


图2 领地式迭代策略示意图

Fig. 2 Sketch map of territorial iteration strategy

压  $U$  而递减;对光伏阵列而言其电流  $I$  也随着光伏阵列的电压  $U$  而递减。

$P-U$  曲线上任意电压  $a$  所对应的电流为:点  $(a, P(a))$  到原点  $(0,0)$  的连线的斜率,即  $I(a) = P(a)/a$ 。对于在  $P-U$  曲线上的任意区间  $[a, b]$ ,  $a$  和  $b$  所对应的适应值分别为  $P(a)$  和  $P(b)$ ,对  $\forall x \in (a, b]$  有:

$$\frac{P(a)}{a} \geq \frac{P(x)}{x} \quad (3)$$

所以,区间  $[a, b]$  上  $a$  点所对应的电流值最大,对于  $P-U$  曲线上任意两点  $a$  与  $b$ ,可以严格给出此区间的最大值的范围。 $[a, b]$  内的最大值估计范围为  $[\max\{P(a), P(b)\}, bP(a)/a]$ 。

### 2.3 领地粒子群算法

领地粒子群算法在初始化时,将整个搜索区域分予 3 个粒子,每个粒子被赋予领地属性,即每个粒子迭代信息包括其本身的位置及其领地的位置,左边界为粒子位置。

领地式迭代方式:当粒子的领地内有可能产生等于或优于全局最优粒子时(即该领地内的最大值估计范围包含全局最优粒子的适应值),该粒子会主动放弃领地内不可能产生优于全局最优粒子的部分,更新其领地边界,即改变粒子位置向右移动左边界;当领地内所能产生的可能最优值无法超越全局最优粒子时,该粒子将会放弃其领地,并飞向全局最优粒子的领地,从中分得新的领地,分配方式是所有当代放弃其领地的粒子与全局最优粒子均分全局最优粒子的领地,最优粒子更新其领地边界。

如图 2 所示,搜索区域内有  $x_1$ 、 $x_2$  和  $x_3$  共 3 个粒子,它们的领地分别为  $[a, b)$ 、 $[b, c)$  和  $[c, d)$ ;  $x_2$  是当前最优粒子,  $[b, c)$  是当前最优粒子领地。经过电压区间估计策略判断,  $x_1$  的领地  $[a, b)$  内有可能产生等于或优于全局最优粒子,所以放弃领地内不可能产生优于全局最优粒子的部分  $[a, a')$ ,下一代  $x_1$  的位置变为  $a'$ ,领地更新为  $[a', b)$ ;经过电压区间估计策略判断,  $x_3$  的领地  $[c, d)$  所能产生的可能最优值无法超越全局最优粒子,所以其领地被放弃,并飞向全局最优粒子的领地,从中分得新的领地  $[c', c)$ ,下一代  $x_3$  的位置变为  $c'$ ,全局最优粒子领地更新为  $[b, c')$ 。

领地粒子群算法前期采用基于领地式迭代策

略,无需过多粒子,取 3 个粒子即可。追踪的范围为  $0 \sim U_{\text{ocar}}$ , 其中  $U_{\text{ocar}}$  为阵列的开路电压。为避免产生短路电流,算法将追踪范围设定为  $1 \sim U_{\text{ocar}}$ 。3 个粒子的初始位置分别为  $1$ 、 $U_{\text{ocar}}/3$  和  $2U_{\text{ocar}}/3$ ; 初始领地分别为  $[1, U_{\text{ocar}}/3)$ 、 $[U_{\text{ocar}}/3, 2U_{\text{ocar}}/3)$  和  $[2U_{\text{ocar}}/3, U_{\text{ocar}})$ 。

领地式迭代策略在后期,尤其是当粒子收敛到全局最大功率点(global MPP, GMPP)附近时,继续采用领地式迭代策略虽可提高追踪精度,但会降低追踪速度。所以,当粒子间的最大距离  $d_{\text{max}} < 0.2U_{\text{ocar}}$  时,所有粒子失去其领地属性,按照原始粒子群的迭代方式继续迭代。当粒子间的最大距离  $d_{\text{max}} < 0.01U_{\text{ocar}}$  时停止迭代,保持光伏阵列电压工作在全局最优粒子所对应的电压处。

领地粒子群算法的流程图如图 3 所示。

当外在环境突变时,光伏阵列的输出功率也会突变,即满足式(4),算法则会被重启。

$$\left| \frac{P' - P}{P} \right| \geq \Delta P \quad (4)$$

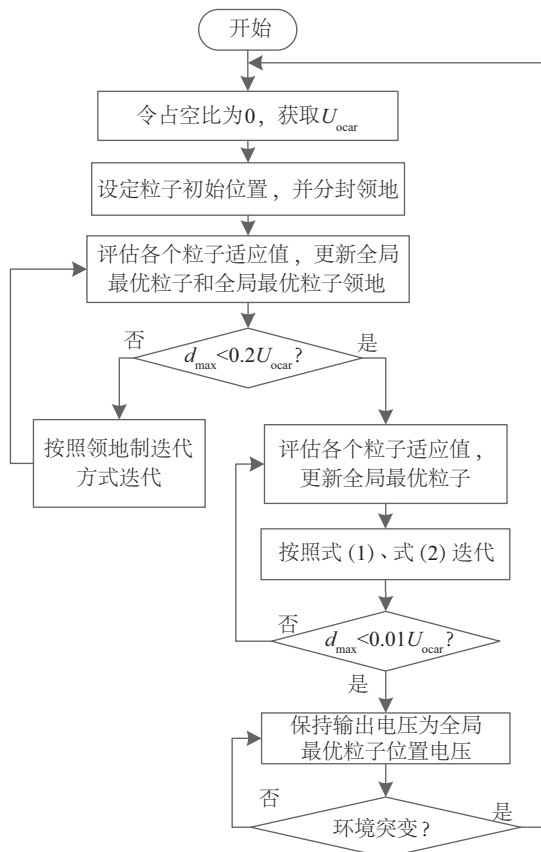


图3 领地粒子群算法的流程图

Fig. 3 Flowchart of TPSPSO

式中,  $P$  —— 迭代终止后的第 1 个周期的采样值;  
 $P'$  —— 迭代终止后的第 2 个周期的采样值;  
 $\Delta P$  —— 功率变化阈值。

### 3 仿真及分析

为验证领地粒子群算法的快速性和有效性,本文使用粒子群算法和领地粒子群算法分别在 2 种不同的光照模式下进行仿真。

#### 3.1 仿真模型及参数选择

本文搭建了基于 Boost 电路的光伏最大功率点跟踪系统,其系统结构如图 4 所示,光伏阵列采用  $5 \times 2$  阵列。仿真模型中,  $C_i$  取  $200 \mu\text{F}$ ,  $C_o$  取  $90 \mu\text{F}$ ,  $L$  取  $150 \mu\text{H}$ ,  $R_L$  取  $120 \Omega$ , 系统的采样周期为  $20 \text{ ms}$ , Boost 电路的开关频率取为  $50 \text{ kHz}$ 。

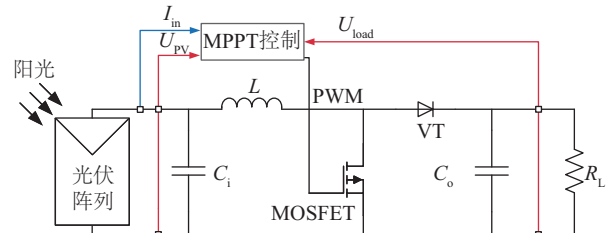


图4 基于 Boost 电路的最大功率点跟踪系统

Fig. 4 Boost-based MPPT system

为保证原始粒子群算法的全局搜索能力,按照文献[8]将粒子数目设为 5 (与阵列中串联模块数相同), 初始位置依次设为  $0.8U_{\text{oc}}$ 、 $1.8U_{\text{oc}}$ 、 $2.8U_{\text{oc}}$ 、 $3.8U_{\text{oc}}$  和  $4.8U_{\text{oc}}$  ( $U_{\text{oc}}$  为标准测试条件下的单块开路电压),  $w=0.2$ ,  $c_1=0.2$ ,  $c_2=0.35$ , 最大限制速度为 5, 当粒子间的最大电压差值  $d_{\text{max}} < 0.01U_{\text{ocar}}$ , 停止迭代; 领地粒子群算法中粒子数目为 3, 初始位置分别为  $1$ 、 $U_{\text{ocar}}/3$  和  $2U_{\text{ocar}}/3$ ; 初始领地分别为  $[1, U_{\text{ocar}}/3)$ 、 $[U_{\text{ocar}}/3, 2U_{\text{ocar}}/3)$  和  $[2U_{\text{ocar}}/3, U_{\text{ocar}})$ 。  $w=0.2$ 、 $c_1=0.2$ 、 $c_2=0.35$ , 最大限制速度为 5, 当粒子间的最大电压差值满足  $d_{\text{max}} < 0.01U_{\text{ocar}}$  时停止迭代。

#### 3.2 2 种不同光照模式下的仿真

2 种模式下的光伏阵列  $P$ - $U$  特性曲线如图 5 所示, 其中实线和虚线分别表示光照模式 1 和模式 2 的  $P$ - $U$  特性曲线。在光照模式 1 下, 2 个支路均仅有一个光照等级, 串联支路 S1 和 S2 的光照均为  $1000$ 、 $1000$ 、 $1000$ 、 $1000$ 、 $1000 \text{ W/m}^2$ , 环境温度为  $25^\circ\text{C}$ 。光伏阵列的  $P$ - $U$  特性曲线如图 5 实线所

示。仅有 1 个峰值,即全局最大功率点,其位置为(85.72 V,598.50 W)。

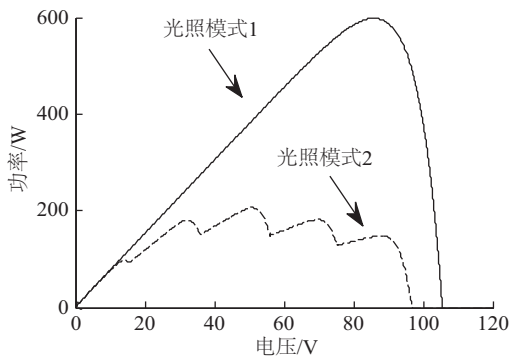


图5 2种光照模式下的光伏阵列 $P$ - $U$ 曲线  
Fig. 5  $P$ - $U$  curve of PV array under irradiance case 1 and 2

光照模式 2 是复杂模式,两支路均为 5 个光照等级,串联支路 S1 和 S2 的光照分别为 1000、750、500、300、200 W/m<sup>2</sup> 和 1000、800、600、400、250 W/m<sup>2</sup>,环境温度为 25 ℃。光伏阵列的  $P$ - $U$  特性曲线如图 5 虚线所示,5 个峰值位置依次为(14.30 V, 99.55 W)、(32.17 V, 180.50 W)、(51.34 V, 206.45 W)、(70.39 V, 181.90 W)和(88.54 V, 148.51 W);其中全局最大功率点为(51.34 V, 206.45 W)。

在光照模式 1 下,粒子群算法和领地粒子群算法的追踪曲线如图 6 所示,可知粒子群算法大约需要 0.90 s 才能收敛到全局最大功率点。而领地粒子群算法 仅需 0.42 s,其追踪时间仅为前者的 46.67%。

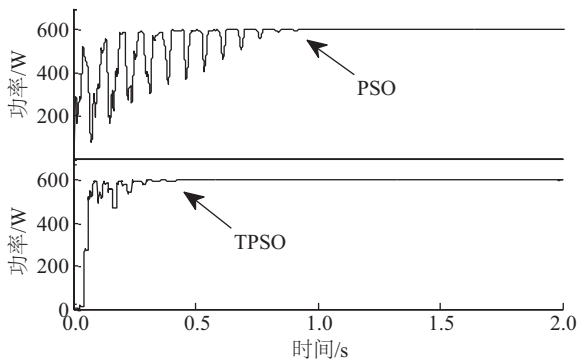


图6 光照模式1下 PSO 和 TPSO 的追踪轨迹  
Fig. 6 Trajectories for PSO and TPSO under irradiance pattern 1

在光照模式 2 下,2 种算法追踪曲线如图 7 所示,可知粒子群算法大约需要 1.60 s 才能收敛到全

局最大功率点。而领地粒子群算法 仅需 0.50 s,其追踪时间仅为前者的 31.25%。

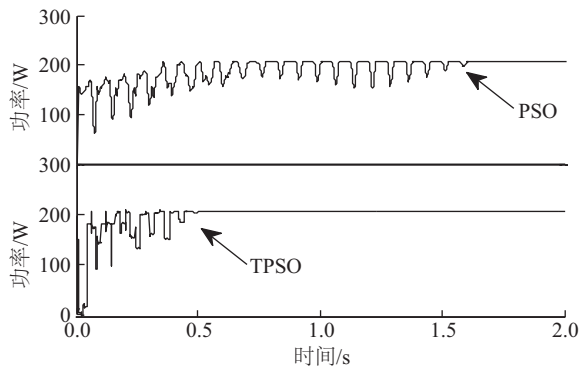


图7 光照模式2下 PSO 和 TPSO 的追踪轨迹  
Fig. 7 Trajectories for PSO and TPSO under irradiance pattern 2

### 3.3 2种算法的追踪性能比较分析

通过纵向比较,粒子群算法在光照模式 1 和 2 下的追踪时间分别为 0.90 和 1.60 s。可知阵列的遮蔽情况越复杂耗时则越多。而领地粒子群算法在模式 1 和 2 下的追踪时间分别为 0.42 和 0.50 s,由此可知,领地粒子群算法的追踪速度较为稳定,受环境影响较小。通过横向比较可知,在 2 种光照模式下,二者的追踪效率相近,但在追踪时间方面,领地粒子群算法的耗时则比原始算法减少 50%以上。

表1 PSO与TPSO算法的追踪效果对比

Table 1 Comparison of Tracking Effects of PSO and TPSO					
模式	追踪算法	追踪功率 $P/W$	实测 GMPP/W	追踪效率 $\eta/\%$	追踪时间 $t/s$
1	PSO	598.27	598.50	99.96	0.90
	TPSO	598.41		99.98	0.42
2	PSO	206.41	206.45	99.98	1.60
	TPSO	206.39		99.97	0.50

## 4 实验验证

本文的实验平台由自制的 Boost 变换器、瓷管电阻、MSX-60 光伏电池板和德州仪器公司的 TMS320F28335 搭建而成。其中 Boost 变换器各参数为:  $C_i=100\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_o=100\text{ }\mu\text{F}$ ,  $L=500\text{ }\mu\text{H}$ 。负载电阻  $R_L=120\text{ }\Omega$ ,系统采样周期  $T$  为 20 ms。实验时将 3×1 串联的光伏阵列置于室外阳光下,对 3 块光伏



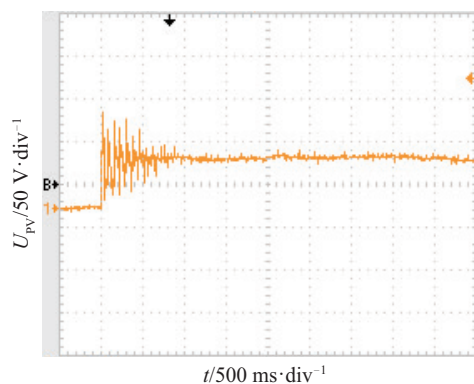
电池板分别覆以 0、1 和 3 层的塑料膜,制造 3 种不同强度的光照条件,如图 8 所示。



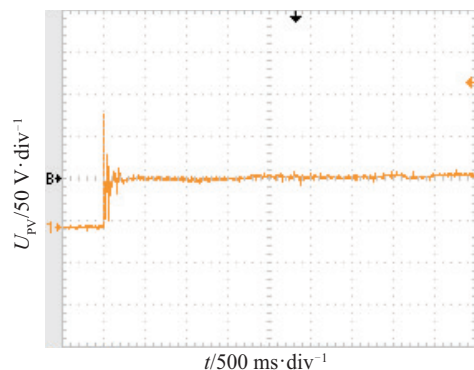
图 8 实验案例图

Fig. 8 Photograph of experimental case

分别使用原始粒子群算法和领地粒子群算法追踪当前条件下的最大功率点,并通过示波器记录光伏阵列输出端的电压  $U_{pv}$  的变化的波形,其追踪波形图如图 9 所示。由图 9 可知,粒子群算法追踪全局最大功率点耗费的时间约为 900 ms,而领地粒子群算法约为 300 ms,耗时仅占前者的 33.33%。



a. 采用原始粒子群算法



b. 采用领地粒子群算法

图 9 局部遮蔽条件下粒子群算法和领地粒子群算法的追踪轨迹

Fig. 9 Trajectories for PSO and TPSO under partial shading condition

## 5 结 论

针对智能 MPPT 算法在光伏阵列受到遮蔽情况下追踪时间过长、适应性差的问题。本文根据光伏阵列特性曲线特点,提出一种电压区间最大值范围估计策略,并结合粒子群算法设计一种领地式迭代策略,进而提出领地粒子群 MPPT 算法。仿真和实验的结果均证明:

1) 本文提出的领地粒子群算法在不同的条件下均能快速追踪到全局最大功率点,且不受光伏阵列的遮蔽情况的影响。

2) 与原始粒子群算法相比,领地粒子群算法在快速性上得到改善。在应用领地式迭代策略后,算法的追踪时间被缩短 50% 以上。

3) 原始粒子群算法的追踪时间会随着光伏阵列遮蔽情况的复杂度的提高而上升。而本文提出的领地粒子群算法追踪时间几乎不受外部遮蔽条件影响,在不同的环境条件下具有较好的稳定性和适应性。

## [参考文献]

- [1] Guerrero J M, Blaabjerg F, Zhelev T. Distributed generation: Toward a new energy paradigm [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 4 (1) : 52—64.
- [2] Liserre M, Sauter T, Hung J Y. Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 4 (1) : 18—37.
- [3] Fermia N, Granozio D, Petrone G, et al. Predictive & adaptive MPPT perturb and observe method [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2007, 43(3): 935—950.
- [4] Xu Zhirong, Yang Ping, Zhou Dongbao, et al. An improved variable step size MPPT algorithm based on INC [J]. Journal Power Electronics, 2015, 15 (2) : 487—496.
- [5] Sher H A, Murtaza A F, Noman A, et al. An intelligent control strategy of fractional short circuit current maximum power point tracking technique for

- photovoltaic applications[J]. *Journal Renewable Sustainable Energy*, 2015, 7: 013114.
- [6] Seyedmahmoudian M, Mekhilef S, Rahmani R, et al. Maximum power point tracking of partial shaded photovoltaic array using an evolutionary algorithm: A particle swarm optimization technique[J]. *Journal Renewable Sustainable Energy*, 2014, 6(2): 1—13.
- [7] 朱艳伟, 石新春, 但扬清, 等. 粒子群优化算法在光伏阵列多峰最大功率点跟踪中的应用[J]. *中国电机工程学报*, 2012, (4): 42—48.
- [7] Zhu Yanwei, Shi Xinchun, Dan Yangqing, et al. Application of PSO algorithm in global MPPT for PV array[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2012, (4): 42—48.
- [8] Tian Yong, Xia Bizhong, Sun Wei, et al. Modeling and global maximum power point tracking for photovoltaic system under partial shading conditions using modified particle swarm optimization algorithm[J]. *Journal Renewable Sustainable Energy*, 2014, 6(6): 1489—1494.
- [9] 刘艳莉, 周航, 程泽. 基于粒子群优化的光伏系统 MPPT 控制方法[J]. *计算机工程*, 2010, 36(15): 265—267.
- [9] Liu Yanli, Zhou Hang, Cheng Ze. MPPT control method of PV system based on PSO[J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(15): 265—267.
- [10] Ishaque K, Salam Z, Amjad M, 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.
- [11] Liu Yihwa, Huang Shyhching, Huang Jiawei, et al. A particle swarm optimization-based maximum power point tracking algorithm for PV systems operating under partially shaded conditions[J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2012, 27(4): 1027—1035.
- [12] Ishaque K, Salam Z. A deterministic particle swarm optimization maximum power point tracker for photovoltaic system under partial shading condition[J]. *IEEE Transactions Industrial Electronics*, 2013, 60(8): 3195—3206.
- [13] Ahmed J, Salam Z. A maximum power point tracking (MPPT) for PV system using cuckoo search with partial shading capability[J]. *Applied Energy*, 2014, 119(12): 118—130.
- [14] Shi Jiying, Xue Fei, Qin Zijian, et al. Improved global maximum power point tracking for photovoltaic system via cuckoo search under partial shading conditions[J]. *Journal Power Electronics*, 2016, 16(1): 287—296.
- [15] Shi Jiying, Xue Fei, Qin Zijian, et al. Tracking the global maximum power point of a photovoltaic system under partial shading conditions using a modified firefly algorithm[J]. *Journal Renewable Sustainable Energy*, 2016, 8(3): 053126.
- [16] Jiang Lianlian, Maskell D L, Patra J C. A novel ant colony optimization- based maximum power point tracking for PV systems under partially shaded conditions[J]. *Energy Building*, 2013, 58(2): 227—236.
- [17] 石季英, 薛飞, 秦子健, 等. 3步光伏最大功率点跟踪算法[J]. *天津大学学报: 自然科学与工程技术版*, 2016, 49(5): 485—490.
- [17] Shi Jiying, Xue Fei, Qin Zijian, et al. Three-step MPPT algorithm for photovoltaic systems[J]. *Journal of Tianjin University: Science Technology*, 2016, 49(5): 485—490.

## APPLICATION OF TERRITORIAL PSO IN GLOBAL MPPT FOR PV ARRAY

Shi Jiying<sup>1</sup>, Ling Letao<sup>1</sup>, Xue Fei<sup>2</sup>, Qin Zijian<sup>3</sup>, Liu Wenan<sup>4</sup>, Yang Ting<sup>1</sup>

(1. College of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Electric Power Research Institute, State Grid Ningxia Electric Power Company, Yinchuan 750001, China;

3. Laiwu Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Laiwu 271100, China;

4. Zibo Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Zibo 255299, China)

**Abstract:** Multiple local maximum would be exhibited on the power-voltage ( $P$ - $U$ ) characteristic curve of photovoltaic (PV) array under partially shaded conditions (PSCs), which makes tracking global maximum power point (GMPP) a challenging task. Intelligent algorithms are increasingly widely used in tracking GMPP for the global search capability. However, intelligent algorithms are commonly spend too much time during tracking GMPP. After studying the characteristic curves of PV array under PSCs, this paper proposed a voltage band maximum range estimation strategy. With further study of PSO, this paper gave each particle territory attribute, and devised a territorial iteration strategy and proposed Territorial particle swarm optimization (TPSO) maximum power point tracking (MPPT) method. This method can track GMPP rapidly under partially shaded conditions. Simulation and experiment results prove that the tracking time of TPSO is 50% or more than shorten than PSO.

**Keywords:** photovoltaic (PV) cell; local search; maximum power point tracker(MPPT); particle swarm optimization (PSO)