

# 基于免疫蚁群融合算法的机械臂 目标图像边缘检测\*

孟 阳, 侯媛彬, 张译文

(西安科技大学 电气与控制工程学院, 西安 710054)

**摘 要:** 针对工业机械臂目标自识别所需的高效图像边缘检测要求, 提出了一种基于免疫蚁群融合算法的图像边缘检测方法。该方法以信息素为基准, 通过注射疫苗进行免疫选择从而优化启发信息, 提高后续遍历效率并有效缩短检测时间。避免了蚁群在游历全图时可能产生的局部最优、收敛停滞等问题, 从而得到符合机械臂自识别要求的图像处理结果, 并能够较好地提高迭代遍历效率, 缩短后续处理时间。仿真实验结果表明, 该算法能够得到较好的边缘检测结果。

**关键词:** 边缘检测; 蚁群算法; 免疫选择; 信息素

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1566-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.102

## Image edge detection method based on immune ant colony algorithm for manipulator target

MENG Yang, HOU Yuan-bin, ZHANG Yi-wen

(School of Electric & Control Engineering, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** According to the requirements of efficient image edge detection for the manipulator self-recognition, this paper proposed a method of image edge detection based on improved fusion algorithm. In order to avoid detection errors by local optimal solution and the stagnation of convergence, ant colony algorithm combined with immune algorithm were taken to traversing the image, which used pheromone as standard. Further, immunization selection through vaccination optimized the heuristic information, then it improved the efficiency of ergodic process, and shortened the time of detection effectively. And the results of image processing was suitable for the manipulator self-recognition. Simulation and experimental of image edge detection result shows that this algorithm is effective with manipulator target images.

**Key words:** image edge detection; ant colony algorithm(ACA); immune to heuristic information; pheromone

边缘检测是数字图像处理和计算机视觉中的基本问题,其目的是标志图像中各种参数变化明显的点。所谓边缘(edge),指的是图像因局部特性的突变所带来的外在表现。图像由于颜色、灰度、纹理等数据的显著变化导致了局部图像的不连续性,因此可以采用某一个标准对图像分割边界进行标定。

针对工业机械臂的边缘检测技术可以极大地提高工作效率,在自感应目标识别过程中采取基于视觉图像的目标感应采集方法,一直被作为机器人人工智能的重点问题进行研究,而对于机器人的抓取目标图像提供一种较好边缘检测方法在机械臂自识别系统中有着重要的意义,是其图像处理过程中的关键步骤。传统的图像边缘检测算子,一阶的包括 Roberts、Sobel 以及 Canny 边缘检测算子等,以及二阶的 Laplace、LOG 算子等,虽然这些算子简单方便,具有很好的实时性,但是它们只适用于检测有限类型的边缘,自适应性一般,抗噪声性能差<sup>[1]</sup>。近年来,广大学者在图像的边缘检测技术上提出了各种创新性方法;雅典耀马尼拉大学的 Baterina 等人<sup>[2]</sup>提出了一种以信息素矩阵为指导的蚁群算法边缘分割方法。清华大学的周洁等人<sup>[3]</sup>采用正交网格划分下的 T-

Snake 模型来计算边缘曲线,根据局部的能量函数值在网格节点上构造并调整边缘曲线,使曲线逼近目标边缘,有效地实现了对冠状动脉主干血管的边缘检测。于焯等人<sup>[4]</sup>提出了一种基于 Hermite 插值的彩色图像边缘检测技术算法,以解决现存边缘提取方法不能同时保持抑噪能力和边缘连续性的问题。上述方法被应用于各种特定环境下的图像检测,然而工业机械臂高速高精度识别要求的边缘检测方法仍然是当前图像处理领域的一个难点。本文针对机械臂抓取实物目标的高速高精度识别要求,提出一种基于免疫蚁群融合算法的图像边缘检测方法。

## 1 算法设计

### 1.1 蚁群算法遍历图像

蚁群算法(ACA)是由意大利学者 Dorigo 等人<sup>[5]</sup>在 20 世纪 90 年代提出的一种仿生类群智能优化算法<sup>[6]</sup>,通过模仿蚂蚁凭借化学信息素的遗留以及其随时间的消逝而进行通信的食物选择方法。蚁群算法的原理在于蚂蚁在搜寻过程中能够释放一种化学物质称之为信息素,能够在曾经搜索的

收稿日期: 2011-09-09; 修回日期: 2011-10-18      基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8002)

作者简介: 孟阳(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为自动化、数字图像处理(27104683@qq.com);侯媛彬(1953-),女,教授,博导,博士,主要研究方向为自动化、安全技术与工程;张译文(1986-),女,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理。

路径上残留并随着时间而逐渐消逝。蚂蚁通过感应信息素的浓度大小来选择觅食方向,因此多次经过的路径上信息素浓度必然逐渐累积,相应的其他路径上信息素浓度必然挥发降低。蚂蚁通过不断地重复这个信息反馈过程,最终得到信息素浓度最高的搜索路径,也即最短路径。该算法具有全局搜索能力,但是由于初期信息匮乏导致搜索盲目性大、收敛速度慢<sup>[7]</sup>,并且会造成局部最优。本文将蚁群算法与免疫算法相结合并应用于图像的边缘检测中,可以较好地解决蚁群算法收敛慢、局部最优的问题,提高图像的边缘检测精度与效率。

在边缘检测过程中,图像中的每个像素都被看做一个点,将  $m$  只蚂蚁随机分布在  $n$  个像素点上进行搜索。在蚂蚁搜索过程中,每一个像素点有 8 个相邻像素,蚂蚁根据信息素及相邻像素点之间的启发信息从其 8 邻域方向根据概率选择下一个像素点,直到达到程序要求。然而在图像的边缘检测中涉及到边缘、背景、目标以及噪声点的区分,因此要有区别地对图像进行特征提取。像素灰度是区别目标和背景的一个重要特征。边界点或噪声点通常是灰度突变的区域,可以从该区域的梯度变化中看出。具体区分方法<sup>[8]</sup>如下:背景或目标区域内像素点周边的八个相邻点,与区域内点灰度值相近的  $3 \times 3$  邻域的像素个数一般为 8,与边界点灰度值相近的  $3 \times 3$  邻域像素个数一般大于或等于 6,而对于噪声点,该数值一般小于 4。

当蚂蚁位于背景和目内,忽略转移概率  $p_{ab}^j$ ,结合蚂蚁运动的惯性原理<sup>[9]</sup>,使其按照原始运动方向移动,直到达到区域边缘。在这个过程中,无须更新信息素浓度。蚁群到达边缘的过程中对图像边缘检测不会造成过多的影响。

当蚂蚁位于边缘或噪声点时,蚂蚁遵循蚁群算法概率转移原则,按照概率  $p_{ab}^j$  进行像素点选择。具体如图 1 所示。其中点  $a, b, c, d$  表示随机分布的四个蚂蚁,当蚂蚁分布在背景或目标中时,其遵循惯性原理,运动方向见点  $a, b, c$ 。当蚂蚁  $d$  在边界上时,其按照转移概率  $p_{ab}^j$  进行方向选择。其中  $p_{ab}^j$  为蚂蚁  $j$  访问完像素点  $a$  后转向访问像素点  $b$  的概率。

$$p_{ab}^j = \begin{cases} \frac{[\varphi_{ab}]^m \cdot [\theta_{ab}]^n}{\sum_{s \in \text{all}_j} [\varphi_{as}]^m \cdot [\theta_{as}]^n} & b \in \text{all}_j \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

其中: $\varphi_{ab}$ 是像素点  $a$  到像素点  $b$  之间的信息素浓度; $m$ 是衡量  $\varphi_{ab}$ 的参数; $\theta_{ab}$ 是像素点  $a$  到  $b$  之间的启发信息,通常被定义为  $1/d_{ab}$ ; $n$ 是衡量  $\theta_{ab}$ 的参数; $\text{all}_j$ 是待遍历的像素点集合。pixel表示像素点,即

$$\text{all}_j = \text{pixel}_{\text{all}} - \sum_{j=1}^l \text{pixel}_j \quad (2)$$

每只蚂蚁在像素线路上的信息素遗留量为  $Q/L_j$ ,  $Q$  是常数,  $L_j$  是像素  $ab$  间的距离。同时,信息素随时间而消逝,每循环一次,  $a$  与  $b$  之间的信息素就会更新,其更新公式为

$$\varphi_{ab}(t+1) = \rho \cdot \varphi_{ab}(t) + \sum_{j=1}^l \Delta\varphi_{ab}^j \quad (3)$$

$$\Delta\varphi_{ab}^j = \begin{cases} Q/L_j & \text{ant}_j \in \text{edge}(a, b) \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

其中: $t$ 是循环次数; $\rho \in [0, 1]$ 是控制  $\varphi_{ab}$ 的参数; $\Delta\varphi_{ab}^j$ 是蚂蚁  $j$  遍历  $a, b$  像素点后其路径上信息素的增长值与  $Q$  和  $L_j$  相关;

$\text{edge}(a, b)$ 表示当蚂蚁  $j$  从像素点  $a$  走向  $b$  时的路线。

当蚁群结束历时,分析其信息素浓度即可标示出目标边缘。然而蚁群算法自身存在缺陷,容易在还没有得到全局最优解时就收敛,得到的是局部最优解,在图像处理时易造成分割盲区。同时其搜索时间过长,结果常在局部最优解与全局最优解之间反复,收敛速度慢,影响检测速度,在处理较大的图片时效率不高。为了提高分割精度,拟采用蚁群方法进行多次迭代,因此提高后续遍历效率十分必要。为了解决上述问题,本文通过注射疫苗进行免疫选择,进一步优化启发信息,从而改进蚁群算法。

## 1.2 基于免疫启发信息的算法改进思路

人工免疫算法 (artificial immune algorithm, AIA) 是一种参照生物免疫系统的随机优化方法,目前成为人工智能领域的热点研究问题。它仿照生物界的免疫系统,抵御外来细菌或病毒的侵害,维持自身防御的平衡性,是一种相当复杂且高精度的自适应调节系统。如同人体的免疫机能一样,一旦外来病菌侵入人体,身体的免疫系统便会由抗原激发而快速反应,按照一套既定程序及时生成一定数量的抗体来对抗外来病菌的入侵。同时,抗体在与病菌的对抗过程中能够逐渐进化,进而演变为成熟的、有针对性的抗体。免疫系统在完成免疫运作后会生成记忆因子,将这种成熟而有针对性的抗体保存起来,一旦再次出现病菌入侵,就能够更加快速高效地产生抗体,抵抗病菌。

由于外来病菌种类多样,结构不一,仅靠自身被动地产生免疫功能,其效率低下,自身代价较高。因此,人工培育的疫苗解决了这一问题。通过接种相关疫苗,可以使没有患过此类病症的人具备产生相关抗体的能力。将成熟有效的抗体接种到不具抗性的免疫系统中,极大地提高了免疫系统的防御效果,缩短免疫生成时间。根据这一特性,在处理非线性问题时采用相类似的思路,可以较好地提高程序运行效果。免疫算法正成为当前的科研热点被广大学者所研究。文献<sup>[10]</sup>提出了一种基于免疫策略的优化算法,它是集免疫与进化为一体的一种全局并行算法,文中验证了算法的全局收敛性,较好地解决了算法中的退化问题,提高了收敛速度。文献<sup>[11]</sup>提出了免疫功能与遗传算法相结合的算法,分别把问题设为抗原,问题的解设为抗体,并将遗传算子加入到免疫算法中。其增加了调节、抗原抗体识别以及记忆功能,在不降低遗传算法鲁棒性的同时,优化搜索速度,提高了全局搜索能力。文献<sup>[12]</sup>通过对 OPC 动作引起系统振荡的机理分析,加入频率偏差信号结合模糊控制原理实现对 OPC 动作逻辑的修改,利用免疫算法结合功率偏差信号对控制器进行自适应调整,实现控制规则的在线整定,建立了原动机、调速器和汽轮发电机过速保护。这些算法可以快速求出满足一定精度要求的最优解,对解决实际工程应用问题具有很大的价值。

在本文的图像处理过程中,程序把先前生成的解当做抗体,保留优化并作为疫苗注入后续的非线性问题中。与自然免疫原理相同,免疫算法通过亲和力和来衡量抗体与抗原之间的匹配程度,以排斥力来描述两个抗体之间的相似程度,根据亲和度择优选择抗体。通过不断更新抗体来优化结果,使得最优解能够在多次问题处理的过程中不断成熟;通过不断

地更新抗体来缩短遍历时间,实现全局搜索的最优化。在解决实际问题时输入目标函数和约束条件,随后产生最初的解集,并进行一系列免疫操作及抗体亲和度的计算,其评价标准计算是计算亲和性,包括抗体—抗原的亲和度以及抗体—抗体亲和度。

在基于蚁群算法的图像边缘检测中,按照约束条件修改其中的某些遍历结果(注射疫苗),随机等概率地抽取一定比例的个体进行疫苗注射,提高抗原与抗体间的亲和度,进而通过免疫选择来淘汰掉低成活率的抗体(包括与抗原亲和度低的抗体以及浓度较高的抗体)。整个过程包括注射疫苗和免疫选择,通过亲和度来淘汰劣质解。最终改善蚁群的游历结果,提高分割精度。

## 2 改进的图像分割方法

蚁群算法在首次游历图像后,浓度分布形成最初的目标边缘,其结果精度较低,因此进行多次迭代,在时间复杂度允许的情况下进一步提高边缘检测精度。在后续的图像游历中,启发信息较低,决定了蚁群在选取方向时仍存在着一定的盲目性,其遍历路线效率不高。因此本文以像素间浓度最大为基准来抽取疫苗,进一步优化蚁群游历速度。疫苗选取原理如图 2 所示。

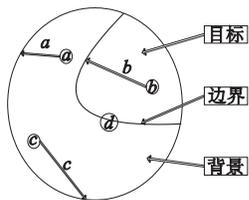


图1 蚂蚁方向选择

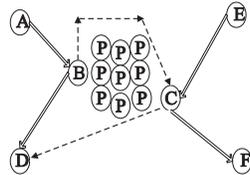


图2 疫苗选取原理

当蚂蚁游历时,设其在概率  $p_{ab}^j$  的影响下,普通的游历路径选择为 A-B-D,另一只蚂蚁路径为 E-C-F,通过首次遍历,已经通过先前的游历得出 B、C 两点浓度最大。当进行后续迭代时,蚂蚁如果能够直接从 B 点走到 C 点,可以极大地提高游历效率,但却因为障碍像素点(图中点 P)的影响未能实现。此时,通过注射疫苗进行免疫选择可以较好地解决这个问题,人为地影响概率  $p_{ab}^j$ ,更改蚂蚁的游历路径为 A-B-C-D。由此,不仅缩短了蚂蚁行走距离,同时可以不再行走浓度相对较低的 E、F 两点。据此原理,通过注射疫苗,蚁群算法的效率和精度在理论上提高了。

根据蚁群游历图像的要求,以像素点之间浓度最大基准定义亲和度函数的计算公式求得亲和度  $Aff(i)$  的描述为

$$Aff(i) = 1 + \rho \frac{\sqrt{(C(\max) - C(i))^2 + (C(i) - C(\min))^2}}{L(\max) - L(\min) + k} \quad (5)$$

其中:  $C(i)$  为单个抗体;  $C(\max) = \max(C(i))$ ,  $C(\min) = \min(C(i))$ ;  $\rho$  是权重常数;  $k$  是极小常数,避免极端情况下分母为零。采用式(5)求取亲和度,通过调整,保留了亲和度高的抗体,从而完成了免疫选择。

在算法运行结束后,蚁群在游历图像的过程中逐渐向图像的边缘轮廓聚集,当达到迭代次数时,图像待分割区域的信息素残留量剧增,而其他背景区域则逐渐趋零。因此,从信息素中取得平均值  $k_{ave}$ , 即当遗留的信息素  $k_{ab} \geq k_{ave}$  时,定义为边缘目标。

## 3 仿真实验结果分析

实验环境: Windows XP Professional, Intel® Core™ 2 Duo CPU T6600,主频 2.19 GHz,内存 2 GB。取蚂蚁的个数 88,初始信息素 1,信息素残留程度 2 000,信息素作用程度 1,信息素衰减系数 0.5。仿真结果如图 3 所示。

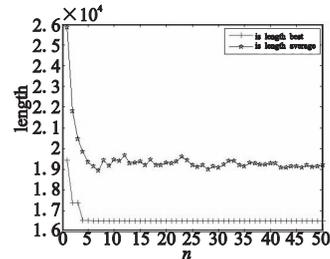


图3 免疫蚁群算法仿真结果

通过算法仿真结果可以看出,蚁群游历 5 次以后,效率趋于稳定,在运行 15 次以后效率变化基本可以忽略。在时间复杂度允许的情况下,适当地增加游历次数有利于提高边缘检测结果。具体设置应根据所需情况而定。

图 4 为原始的抓取目标图像,图 5 ~ 7 分别使用了 Roberts 算子、Canny 算子以及免疫蚁群等方法提取边缘的图像。由实验结果可以看出,Roberts 算子对于梯度较大的部分检测效果一般,边缘连续性较差,对噪声敏感;Canny 算子检测出的图像连续性优于前者但细节连接不够准确,且算法的阈值要人为设定,计算量较大;而改进蚁群算法可以减少检测中边缘的中断,有利于得到比较完整的边缘,并且在有噪声的情况下,能够较好地去除噪声。仿真实验结果显示,改进的蚁群算法能够提供更好的边缘检测结果,适用于机械臂图像识别的后续工作。



图4 原始图像



图5 Roberts检测



图6 Canny检测



图7 免疫蚁群检测

## 4 结束语

本文针对工业抓取机器人基于图像的自感应识别要求,提出一种基于免疫蚁群融合算法游历图像的边缘检测方法。针对蚁群算法局部最优和收敛较慢的缺点,采用免疫算法进行改进,以浓度最高为基准注射疫苗进行免疫选择,从而避免了图像边缘检测中误差较大的现象并提高了后续遍历效率,同时可以根据具体应用目的通过调节遍历次数以达到时间最优或质量最优。实验结果表明,改进后的算法具有更优良的全局优化性能,并能够更加高效地发现最优解,获得了理 (下转第 1571 页)

$$WD_{22} \% (m_{i1}, n_{j2})_q = \begin{cases} WD_2 \% (m_{21}, n_{22}) \\ WD_2 \% (m_{21} \times N_{21}, n_{22}) \\ WD_2 \% (m_{21}, n_{22} \times N_{22}) \\ WD_2 \% (m_{21} \times N_{21}, n_{22} \times N_{22}) \end{cases} \quad (9)$$

其中:  $p=1,2,\dots,m, q=1,2,\dots,n; i=1,2,\dots,N_1; j=1,2,\dots,N_2$ 。

根据上面阐述的方式模拟两层针织方式可以真实地反映获取的效果,得到的模拟针织过程更加逼真。

### 3 实验结果与仿真

为了验证本文算法的优劣,采用对比的方法对一个二重组织物进行计算机模拟。二维组织物模拟的直观效果如图 2 所示。

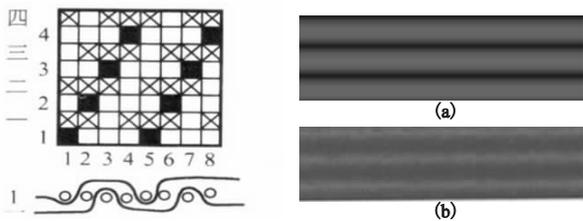


图1 纬二重组织重叠示意图 图2 纱线的计算机模拟效果

图 2(a) 的图片为本文算法取得的模拟图片, (b) 为传统算法取得的图片。通过对比可以看出, 本文方法取得的纱线模拟效果更为平滑、真实。对质地和结构更为复杂的纬二维组织物的模拟直观效果如图 3 所示。

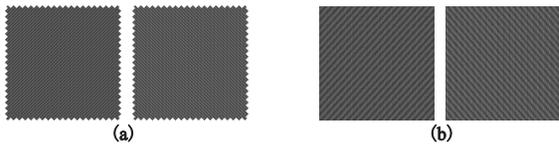


图3 纬二维组织物模拟效果图

图 3(a) 为本文算法取得的计算机模拟图片, (b) 为传统方法取得的二维组织物计算机模拟图片。通过直观的观察可以看出, 本文取得的图片的像素更加柔和, 而传统方法由于没有考虑二维组织物的性质, 模拟出的效果逼真感不强, 因此本文的方法在模拟二维组织物的过程中更具优势。

### 4 结束语

本文以纬二重组织物花样为例, 研究了纬二重组织的计

算机模拟。首先建立光照模型, 然后结合纱线的椭圆柱状模型来模拟纱线; 由二重组织物物的构成条件导出组织不“露底”的判别条件, 建立经纬数学模型, 并据此绘制出二重组织物的正反面组织图; 最后根据单组织物物的模拟方法, 模拟出二重组织物物的正反面效果图。实验结果表明, 利用此方法模拟出的二重组织物物效果十分逼真。

#### 参考文献:

- [1] JEON B, BAE J, MOON W. Automatic recognition of woven fabric patterns by artificial neural network[J]. *Textile Research Journal*, 2003, 73(7):645-650.
- [2] KUO C, SHIH C, LEE J. Automatic recognition of fabric weave pattern by a fuzzy C-means clustering method[J]. *Textile Research Journal*, 2004, 74(2):107-111.
- [3] 冯结青, 彭群生. 基于插值的 Bernstein 多项式复合及曲线曲面应用[J]. *软件学报*, 2002, 13(10):2014-2019.
- [4] 鲍春波, 王博亮, 刘卓, 等. 一种用于软组织变形仿真的动态质点弹簧模型[J]. *系统仿真学报*, 2006, 18(4):847-852.
- [5] JI Feng. Research on simulation of soft tissue deformation in virtual orthodontics[C]//Proc of the 16th International Conference on Artificial Reality & Telexistence. Washington DC: IEEE Computer Society, 2006:318-322.
- [6] 徐乃平. 真实感布仿真中布与刚体的碰撞检测及修正[J]. *软件学报*, 2001, 12(12):1874-1880.
- [7] 张建英. 针织物动态模拟方法的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [8] 高春波, 刘玉树. 碰撞检测技术综述[J]. *计算机工程与应用*, 2002, 38(5):9-11.
- [9] 靳碧鹏. 基于物理的计算机实时动画研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [10] 吴峥, 谢叻, 马浩博. 虚拟手术实时物体碰撞检测和软组织变形研究[J]. *计算机仿真*, 2010, 27(2):255-259.
- [11] 赵伟, 谭睿璞, 杨秋娜, 等. 基于着色算法的并行碰撞检测算法[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(5):1695-1699.
- [12] 范昭炜, 万华根, 高曙明. 基于并行的快速碰撞检测算法[J]. *系统仿真学报*, 2000, 12(5):548-552.

(上接第 1568 页)想的边缘检测结果, 为工业机器人抓取目标的准确识别奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] 叶冠华. 基于运动模型的红外多目标跟踪[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006:25-32.
- [2] BATERINA A V, OPPUS C. Image edge detection using ant colony optimization[J]. *WSEAS Trans on Signal Processing*, 2010, 6(2):58-67.
- [3] 周洁, 蒋晓华. 基于正交 T-Snake 模型的冠状动脉边缘检测[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2009, 49(1):41-44.
- [4] 于焯, 陆建华, 郑君里. 基于 Hermite 插值的彩色图像边缘检测技术[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2008, 48(4):533-557.
- [5] DORIGO M. 蚁群优化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006:64-114.
- [6] 梁艳春, 吴春国, 时小虎, 等. 群智能优化算法理论与应用[M].

北京: 科学出版社, 2009.

- [7] 韩芳, 周忠勋, 孙毅. 基于改进双种群算法的无功优化研究[J]. *东北电力大学学报*, 2010, 30(4):48-52.
- [8] HAN Yan-fang, SHI Peng-pei. An improved ant colony algorithm for fuzzy clustering in image segmentation[J]. *Neuro Computing*, 2007, 70(4/6):665-671.
- [9] CHIALVO D R, MILLONAS M. How swarms build cognitive maps[M]//The Biology and Technology of Intelligent Autonomous Agents. Berlin: Springer-Verlag, 1995:439-450.
- [10] 王磊. 免疫进化计算理论及应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2001.
- [11] 莫宏伟, 王科俊, 金鸿章. 计算智能的融合应用研究[J]. *自动化技术及应用*, 2002, 22(5):12-16.
- [12] 邓婧, 李兴源, 魏巍. 基于模糊免疫算法的汽轮发电机组 OPC 控制[J]. *电力系统及其自动化学报*, 2011, 23(3):2-7.