

# 基于最近邻居法的最大—最小蚂蚁系统

龚 捷

(中国人民解放军理工大学通信工程学院 江苏 南京 210007)

**【摘要】**最大—最小蚂蚁系统(Max-Min Ant System, MMAS)是目前性能最好的蚁群算法。MMAS 通过将信息素限制在  $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$  区间内,来控制各边的信息素差距,避免一些边上的信息素远高于其他边,继而使得蚂蚁都沿着同一条路径移动,减少了停滞现象的发生。通过对信息素上下限  $\tau_{\max}, \tau_{\min}$  进行研究,提出一种基于最近邻居法设置  $\tau_{\max}, \tau_{\min}$  的最大—最小蚂蚁系统 NN-MMAS(Nearest Neighbor MAX-MIN Ant System)。实验表明,该算法对  $\tau_{\max}, \tau_{\min}$  的设置更准确,能有效提高算法性能。

**【关键词】**蚁群算法;MMAS;信息素

## 1 信息素上下限的设置

定理 1<sup>[1]</sup>对于任意边  $(i, j)$  上的信息素  $\tau_{ij}$ , 有

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tau_{ij}(t) = \tau_{ij}^* \leq \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{f(s^*)}$$

证明 在任意循环后可能增加的最大信息素量为  $\frac{1}{f(s^*)}$ , 其中

$f(s^*)$  为具体问题的最优解。 $\tau_{ij}(t+1) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}^{\text{best}}$ , 其中  $\Delta \tau_{ij}^{\text{best}} = 1/f(s^*)$ 。

到第  $t$  次循环为止信息素挥发后所剩余量至多为:

$$\tau_{\max}(t) = \sum_{i=1}^t \rho^{t-i} \cdot \frac{1}{f(s^*)} + \rho^t \cdot \tau_{ij}(0)$$

由于信息素保留系数  $\rho < 1$ , 这个和渐进地收敛到  $\frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{f(s^*)}$ , 故

定理得证。

定理 2<sup>[1]</sup>对于任意边  $(i, j)$  上的信息素  $\tau_{ij}$ , 有

$$\tau_{ij} \geq \frac{\tau_{\max}(1 - \sqrt[n/2]{P_{\text{best}}})}{(n/2 - 1) \sqrt[n/2]{P_{\text{best}}}}$$

其中,  $P_{\text{best}}$  为 MMAS 收敛时, 蚂蚁构造出最优解的概率。

证明 设蚂蚁在一个选择点上选择“正确的”解元素的概率为  $P_{\text{dec}}$ ,

要构造出最优解, 蚂蚁需作  $n$  次“正确的”选择, 因此  $P_{\text{dec}}^n = P_{\text{best}}$ 。

$$P_{\text{dec}} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max} + (n/2 - 1) \tau_{\min}}$$

解方程得

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}(1 - P_{\text{dec}})}{(n/2 - 1) P_{\text{dec}}} = \frac{\tau_{\max}(1 - \sqrt[n/2]{P_{\text{best}}})}{(n/2 - 1) \sqrt[n/2]{P_{\text{best}}}} \quad \text{式①}$$

故定理得证。

### 1.1 信息素上、下限初值的设定

(1) 传统的设定方法

由定理 1 可知,

$$\tau_{\max} = \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{f(s^*)} \quad \text{式②}$$

其中  $f(s^*)$  为具体问题的最优解。

但问题是算法开始前, 最优解  $f(s^*)$  并不知道。

通常的方法是初始时, 凭经验将各边上的信息素  $\tau_{ij}(0)$  设为某个高值。在 MMAS 的第一次循环后, 将算法找到的解  $f(s_1)$  作为  $f(s^*)$ , 从而得到  $\tau_{\max}(1), \tau_{\min}(1)$ , 再将各边的信息素限制在  $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$  区间内<sup>[1]</sup>。

该方法的不足是, 使用 MMAS 第一代得到的解  $f(s_1)$  作为  $f(s^*)$  不够准确。因为信息素  $\tau_{ij}(0)$  是凭经验设定, 且如果  $\tau_{ij}(0)$  过大, 将影响启发信息  $\tau_{ij}$  对蚂蚁的引导, 导致  $f(s_1)$  与  $f(s^*)$  差距较大。

(2) 改进的设定方法

使用最近邻居法产生较优的初始解  $f(s_{\text{NN}})$ , 将  $f(s_{\text{NN}})$  作为  $f(s^*)$ , 并根据式①、②设定  $\tau_{\max}(0), \tau_{\min}(0)$ 。

**最近邻居法** 每次选择下一个移动目标时, 直接选择距离当前位置最近的目标。以旅行商问题为例, 旅行商从起点出发, 每次选择距离当前城市最近的城市, 作为下一步访问的目标。

### 1.2 信息素上、下限的动态更新

在算法的运行过程中, 每当发现新的全局最优解  $f(s^*)$ , 就用其代替  $f(s^*)$ , 根据式①、②得到新的  $\tau_{\max}, \tau_{\min}$ 。由此实现  $\tau_{\max}, \tau_{\min}$  的动态更新, 并使其更加准确<sup>[1]</sup>。

## 2 NN-MMAS 算法

根据上述分析, 提出一种使用最近邻居法初始化信息素上下限的最大—最小蚂蚁系统 NN-MMAS。

### 2.1 算法描述

以 TSP 问题为例, 描述 NN-MMAS 算法步骤如下:

(1) 初始化(蚂蚁数、城市数、启发信息、循环计数器)

(2) 根据最近邻居法计算路径长度。

(3) 根据式①、②设定  $\tau_{\max}(0), \tau_{\min}(0)$

(4) 初始化各边信息素, 令  $\tau_{ij}(0) = \tau_{\min}(0)$

(5) 将  $m$  只蚂蚁随机置于  $n$  个城市上

(6) 清空禁忌表, 每只蚂蚁根据转移概率选择下一步的城市, 将蚂蚁移动到新的城市, 并将该城市加入禁忌表。重复此步, 直到所有城市都被访问过。

(7) 对各边进行信息素更新(对找到迭代最优解的蚂蚁所经过的路径增加信息素)并平滑。

(8) 用全局最优解  $f(s^*)$  代替  $f(s^*)$ , 更新  $\tau_{\max}, \tau_{\min}$ 。

(9) 如果未达到最大迭代次数, 返回(6); 否则, 输出最短路径。

### 2.2 算法仿真

以 TSPLIB 通用数据库中的 Oliver30 问题为例, 对比测试 MMAS 和 NN-MMAS。

参数设置  $\alpha=1, \beta=3$ , 蚂蚁数  $m=30$ , 挥发系数  $\rho=0.02$ , 循环次数  $N_c=1000$ 。

分别运行 MMAS 和 NN-MMAS。记录其  $\tau_{\max}$  和最优解的连续变化过程, 取 30 次实验均值, 如图 1、图 2。

Oliver30 问题的公布最优解为 420, 即  $f(s^*)=420$ , 由式②:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{f(s^*)} = 0.119048$$

此为  $\tau_{\max}$  的准确值。

由图 1, MMAS 在 220 代后才与 NN-MMAS 基本重合, 逼近  $\tau_{\max}$  的准确值。而在开始的 220 代内, NN-MMAS 的  $\tau_{\max}$  较 MMAS 更接近准确值。

由图 2, MMAS 在 220 后才与 NN-MMAS 基本重合, 逼近参考答案 420。

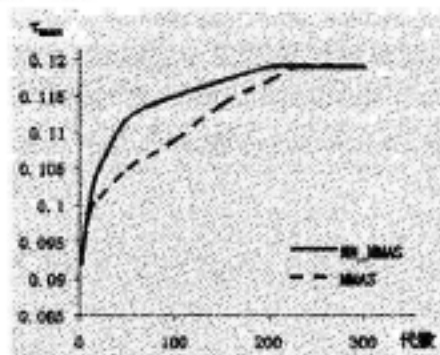


图 1

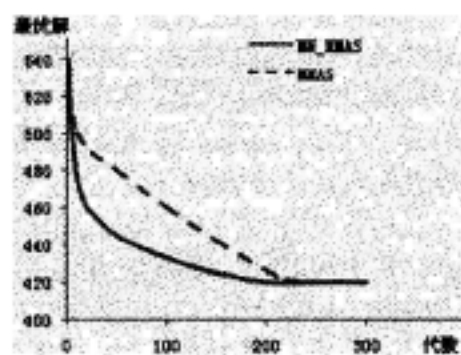


图 2 (下转第 24 页)

恢复,高剂量的咪唑乙烟酸对大豆根瘤数的抑制时间较长。

表2 咪唑乙烟酸不同处理对大豆根瘤数的影响

咪唑乙烟酸用量 (g ai/hm <sup>2</sup> )	咪唑乙烟酸用量(g ai/hm <sup>2</sup> )				
土壤处理	47天	55天	61天	67天	75天
0	22.8a	34.2a	73.8a	63.8a	106.5a
62.5	20.7b	33.3b	54.3b	46.0c	88.2b
125.0	16.3c	32.2c	44.8c	63.3a	83.2c
250.0	14.8c	31.7d	44.0c	57.7b	87.0b
茎叶处理	10天	18天	24天	30天	38天
0	22.8a	34.2a	73.8a	63.8a	106.5a
62.5	62.5	62.5	62.5	63.5a	105.7a
125.0	17.2c	25.3c	52.8c	58.5b	81.2b

注:小写字母表示0.05水平差异显著性

### 2.2.2 咪唑乙烟酸对大豆根瘤干重的影响

咪唑乙烟酸土壤和茎叶处理后,大豆根瘤干重均显著降低(见表3)。在试验测定的75天范围内大豆根瘤干重随着咪唑乙烟酸施用剂量的增加而显著降低。至咪唑乙烟酸土壤处理后的75天,咪唑乙烟酸62.5 g ai/hm<sup>2</sup>、125.0 g ai/hm<sup>2</sup>和250.0 g ai/hm<sup>2</sup>使大豆根瘤干重分别较对照减少0.08克、0.25克和0.38克。表明咪唑乙烟酸土壤处理后使大豆干重的积累长时间受到抑制作用。

咪唑乙烟酸茎叶处理后,在试验测定的18天范围内咪唑乙烟酸62.5 g ai/hm<sup>2</sup>和125.0 g ai/hm<sup>2</sup>使大豆根瘤干重显著降低(见表2)。24天以后,咪唑乙烟酸对大豆根瘤干重的抑制作用得到恢复。表明咪唑乙烟酸茎叶处理后,在短时间范围内(18天)对根瘤干重具有显著的抑制作用,以后对根瘤干物质积累抑制作用得到解除。

表3 咪唑乙烟酸不同处理对大豆根干重的影响

咪唑乙烟酸用量 (g ai/hm <sup>2</sup> )	根瘤干重(克/株)				
土壤处理	47天	55天	61天	67天	75天
0	0.26a	0.49a	0.56a	0.59a	1.43a
62.5	0.25a	0.42b	0.55a	0.49d	1.35b
125.0	0.22b	0.39c	0.48b	0.57b	1.18c
250.0	0.19c	0.32d	0.44c	0.53c	1.05d
茎叶处理	10天	18天	24天	30天	38天
0	0.26a	0.49a	0.56a	0.59a	1.43a
62.5	0.21b	0.42b	0.50b	0.58a	1.42a
125.0	0.20b	0.39c	0.48b	0.57a	0.57a

注:小写字母表示0.05水平差异显著性

### 2.3 咪唑乙烟酸对大豆产量的影响

咪唑乙烟酸茎叶处理后大豆产量未受到显著影响。咪唑乙烟酸62.5 g ai/hm<sup>2</sup>土壤处理后大豆产量未受到显著影响,但咪唑乙烟酸高剂量125.0 g ai/hm<sup>2</sup>和250.0 g ai/hm<sup>2</sup>土壤处理可造成大豆产量的显著降低,较对照分别减产21.4%和33.9%。表明咪唑乙烟酸在高剂量长期施用条件下将造成大豆产量的显著降低,在生产中应杜绝咪唑乙烟酸

超剂量和长期单一使用。

表4 咪唑乙烟酸不同处理对大豆根干重的影响

咪唑乙烟酸用量(g ai/hm <sup>2</sup> )	产量平均值(kg/hm <sup>2</sup> )	减产(%)
土壤处理		
0	3355.6a	-
62.5	3219.6a	4.2
125.0	2637.1b	21.4
250.0	2217.3c	33.9
茎叶处理	茎叶处理	茎叶处理
0	3355.6a	-
62.5	3137.1a	6.5
125.0	2999.0a	10.6

注:小写字母表示0.05水平差异显著性

### 3 结论

咪唑乙烟酸500μg/kg条件下,对大豆根瘤菌生长无明显抑制作用,但在咪唑乙烟酸≥1000μg/kg时,根瘤菌生长受咪唑乙烟酸的显著抑制。咪唑乙烟酸土壤处理后使大豆根瘤数和干重的生长受到较长时间的抑制作用,茎叶处理后短时间内造成对大豆根瘤数和干重的显著抑制,但随后根瘤可恢复正常生长。咪唑乙烟酸茎叶处理对大豆产量无显著影响,高剂量咪唑乙烟酸125.0gai/hm<sup>2</sup>和250.0gai/hm<sup>2</sup>土壤处理可造成大豆产量的显著降低。

#### 【参考文献】

- [1] Harper, J.E. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. Crop Sci, 1974, 14: 255-260.
- [2] Moorman, T.B. A review of pesticides on microorganisms and soil fertility. J. Prod. Agric, 1989, 2: 14-22.
- [3] Moorman, T.B., Becerril, J.M., Lydon, J., Duke, S.O. Production of hydroxybenzoic acids by Bradyrhizobium japonicum strains after treatment with glyphosate. J. Agric. Food Chem, 1992, 40, 289-293.
- [4] Saghir Khan Md, et al. Influence of herbicides on Chickpea-Mesorhizobium symbiosis[J]. Agronomie, 2004, 24: 123-127.
- [5] Zabalza, A., Gaston, S., Ribas-Carbo, M., Orcaray, L., Igal, M., Royuela, M. Nitrogen assimilation studies using <sup>15</sup>N in soybean plants treated with imazethapyr—an inhibitor of branched-chain amino acid biosynthesis. J. Agric. Food Chem, 2006, 54: 2621-2628.
- [6] Zabalza, A., Gaston, S., Ribas-Carbo, M., Orcaray, L., Igal, M., Royuela, M. Nitrogen assimilation studies using <sup>15</sup>N in soybean plants treated with imazethapyr—an inhibitor of branched-chain amino acid biosynthesis. J. Agric. Food Chem, 2006, 54: 2621-2628.
- [7] 陈华葵, 樊庆笙. 微生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.

作者简介: 曹丽娟(1985—), 新疆乌鲁木齐人, 东北农业大学硕士研究生, 研究方向为农药生态安全评价。

丁伟(1968—), 江苏沛县人, 东北农业大学副教授, 研究方向为农药作用原理和生态安全评价。

※基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项(项目编号为2009ZX08011-023B); 哈尔滨市人才专项基金(项目编号为2007RFQXN012); 黑龙江省青年科学基金项目(项目编号为QC07C45)。

[责任编辑: 张爽]

(上接第57页) 综上, 采用最近邻居法得到的 $f(s_{NN})$ 比 $f(s_i)$ 更接近 $f(s^*)$ , 因此NN\_MMAS的 $\tau_{max}(t)$ 比MMAS更准确, 明显地提高了算法的收敛速度。

#### 【参考文献】

- [1] 李士勇, 等. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 36-

38.

作者简介: 姜捷(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为网络系统工程及应用。

[责任编辑: 王静]