

# 基于蚁群行为仿真的影像纹理分类

郑肇葆<sup>1</sup> 叶志伟<sup>1</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路129号,430079)

**摘要:**介绍了蚁群行为仿真的概念,提出蚁群行为仿真产生 Tuned 模板的数学模型和航空影像纹理分类的新方法。为了验证模型的正确性,与遗传算法作了对比试验,结果表明了本文方法的正确性。

**关键词:**蚁群行为仿真;遗传算法;影像纹理分类

**中图法分类号:**P237.4;P231.5;TP753

自从20世纪50年代中期创立仿生学以来,人们从生物进化的机理中受到启发,并开始用计算机、精密机械等人工媒体模拟自然生物的特有行为,这就是所谓的人工生命<sup>[1]</sup>。人工生命的特有行为是指自组织化行为和学习行为,具有这种行为的系统能在复杂的外部环境中自动地调整系统的行为,甚至改变系统的结构。在调整和改变过程中学到新的知识,使系统本身得到优化。

蚂蚁行为仿真(简称 SAB)属于人工生命的范畴。Deneubourg 等人利用一些不同种类的蚂蚁进行了试验<sup>[2]</sup>,观察到以下行为。

- 1) 在蚂蚁觅食过程中,当蚂蚁从巢穴到达食源的途中遇到两条路线时,它将选择最短的线路;
- 2) 如果给蚂蚁提供两个数量不等的食源,它将选择数量较多的食源;
- 3) 给蚂蚁提供数量相等的食源,蚂蚁将探测数量更多的食源。

昆虫学家 Wilson 研究发现,蚂蚁在移动过程中,将一种化学标志(称为 pheromone)敷设在走过的线路上,这种化学标志称为“信息素”。在此线路上走过的蚂蚁越多,沉积的信息素的数量越多。蚂蚁就是利用这种信息素在蚁群中间构成通讯网络,产生蚁群的“突生”行为。

第一个蚂蚁行为仿真算法是由意大利学者 Dorigo 等人提出的<sup>[3]</sup>,即蚁群算法(ant colony algorithm, ACA),这个算法主要用在旅行商问题(TSP)、指派问题、Job-shop 调度问题中,尤其在

旅行商问题中应用最典型,效果突出。本文将蚁群行为仿真的思想引用到图像处理中,为解决影像纹理分类提供了一个新的尝试。

## 1 蚁群行为仿真<sup>[4]</sup>

蚂蚁通过沉积在线路上的信息素实现彼此间的通讯。单个蚂蚁在地面上随机移动,遇到信息素痕迹时,它会根据信息素沉积量的多少决定应选择的跟踪方向。一旦决定选择某一个方向,它又在这条线路上敷设新的信息素,使线路上信息素的沉积量增加。如此反复,使线路上信息素的量不断强化,愈强化,跟踪这条线路的蚂蚁越多,这种现象称之为“正反馈”过程。图1是蚂蚁搬运食物线路图。若在线路中放置一个障碍物,由于障碍物四周还没有信息素的沉积,蚂蚁选择哪一个方向都可以。一旦选择一个方向,它们就会沿这个方向移动,直至找到食物,并拖着食物返回。返回途中又遇到障碍物,这时它应该选择沉积信息素较多的线路(即通过蚂蚁较多的线路)。

因为两条线路的距离不相等,因此,如果蚂蚁的移动速度相同,由图1(b)可见,线路 $\overline{ABCD}$ 短,而线路 $\overline{ABHD}$ 长,经过一段时间以后,走过 $\overline{ABCD}$ 的蚂蚁比走过 $\overline{ABHD}$ 的多,而且这是正反馈过程,最后必然是全部蚂蚁选择 $\overline{ABCD}$ ,一旦食物全部被运走,就没有蚂蚁再去,留在线路上的信息素随着时间的推移将逐渐消失。

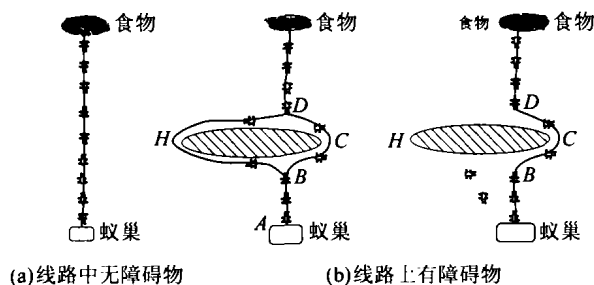


图 1 搬运食物线路

Fig. 1 Path to Transport Food

## 2 蚁群行为仿真的应用

以产生用于航空影像纹理分类的 Tuned 模板为例,将上述蚁群的正反馈行为应用到影像纹理分类中。Tuned 模板是一个  $5 \times 5$  的阵列,阵列中左右元素对称,用这个模板与原来的数字图像作卷积运算,产生卷积影像,用卷积影像计算出这幅图像的平均能量,不同类别的纹理影像具有不同的能量,因此,可利用由 Tuned 模板计算出纹理影像的能量进行分类<sup>[5]</sup>。

从上面分析知道,给出一个模板就能得到一幅图像的能量。在 Tuned 模板的实际应用中,希望找到能很好区分几类(假定三类)不同纹理类别图像的最佳模板,这是一个优化组合问题。笔者曾用遗传算法(GA)解决过该问题<sup>[5]</sup>,现在利用蚁群行为仿真来解决。

假定有 4 个模板 I、II、III、IV(这 4 个模板可以随机地确定,也可以取自遗传算法的群体中)。每个模板中有 4 个元素,编号为①、②、③、④,具体数值见表 1。

表 1 模板  
Tab. 1 Mask

模板	①	②	③	④
I	13	5	9	17
II	10	5	8	20
III	15	5	9	14
IV	8	8	11	22

确定最优模板也就是确定 4 个最优元素的问题。把每个元素的 4 个数值视为以 A 为圆心、AP 为半径的圆周上的 4 个点,点  $a_i$  的数值表示  $Aa_i$  与起始方向 AP 之间的夹角。由此可得第①个元素的 4 个值( $a_1=13, a_2=10, a_3=15, a_4=8$ ) 在圆周上的分布,如图 2 所示,则  $Aa_1$  与 AP 的夹角为 13。在圆周上 4 个点的位置的特点是:两个数值接近的点靠得近,数值相差大的点离得远。假定在

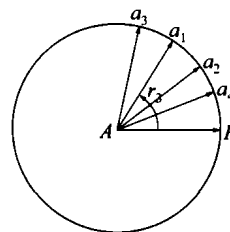


图 2 模板中元素在圆周上的分布

Fig. 2 Distribution of the Template Element on the Circle

这 4 点上各有一只蚂蚁,那么 4 只蚂蚁在各自位置沉积下来的信息素将向四周扩散,并且相互叠加,这种叠加的效果使相互靠近的蚂蚁影响大,远离的蚂蚁影响小。这时若在 A 点又有一只蚂蚁出发,它肯定是向信息素叠加最浓的方向移动(这是蚁群正反馈行为的结果),蚂蚁达到圆周上的位置就是当前的最好解,其数值等于该位置与 AP 的夹角。具体算法如下。

1) 将表 1 中第①个元素用  $x_1$  表示为:

$$x_1 = \{a_1, a_2, a_3, a_4\} \quad (1)$$

2) 将  $x_1$  中的每一个  $a_i$  赋给一个权系数  $w_i$ ,  $w_i$  的值按以下的原则确定。

①  $w_i$  等于  $a_i$  在  $x$  中出现的次数;

②  $a_i$  在  $x_1$  中没有相同的,但是  $a_i$  与  $a_j$  相差为 1 者,  $w_i=1.3$  (这个值是由经验确定的);

③ 不属于上述两种情况者,  $w_i=1$ 。

3) 计算  $x_1$  中每个数出现的概率:

$$p_i = w_i a_i / \sum_{i=1}^4 w_i a_i \quad (2)$$

4) 计算第①个元素的新值:

$$x_0 = \sum_{i=1}^4 p_i a_i \quad (3)$$

将新值  $x_0$  与  $x_1$  中的 4 个数进行比较,若与其中一个数相同,则该数的  $w_i$  值增加 1;否则在  $x_1$  中又多了一个新数,如此继续,直到  $x_1$  中的  $w_i$  有等于 3 的为止(数值 3 由试验确定),与  $w_i=3$  相应的数值即为所求值。

以表 1 中数据为例,根据以上算法,经 5 次迭代的计算结果见表 2。

表 2 中的“数”指相应元素的取数;“权”指相应数值的权系数  $w_i$ 。经过 5 次迭代以后,模板的 4 个元素均有权大于等于 3 的相应数值,即 12、6、9 和 21 这 4 个数值即为当前较好的 4 个元素值。如果模板中有更多的元素,方法相同。以上便是应用蚁群行为仿真寻找最佳模板的思想,这个思想比文献[4]中的方法更直观,更接近蚁群的行

表 2 算例  
Tab. 2 Example

	①		②		③		④	
	数	权	数	权	数	权	数	权
第一次迭代	13	1	5	3	9	3	17	1
	10	1	6	1	8	1	20	1
	15	1	8	1	11	1	14	1
	8	1					22	1
	12	1					19	1
第二次迭代	13	1	5	3	9	4	17	1
	10	1	6	2	8	1	20	1
	15	1	8	1	11	1	14	1
	8	1					22	1
	12	2					19	2
第三次迭代	13	1	5	3	9	5	17	1
	10	1	6	3	8	1	20	1
	15	1	8	1	11	1	14	1
	8	1					22	1
	12	3					19	2
第四次迭代	13	1	5	3	9	6	17	1
	10	1	6	4	8	1	20	1
	15	1	8	1	11	1	14	1
	8	1					22	1
	12	4					19	2
第五次迭代	13	1	5	3	(9)	7	17	1
	10	1	(6)	5	8	1	20	1
	15	1	8	1	11	1	14	1
	8	1					22	1
	(12)	5					19	2
							(21)	3

为。文献[4]是把一个模板视为搜索空间的一个点,在搜索过程中,把前后两个点的连线作为矢量,引入两个矢量的数量积作为启发式信息,实现最优解的搜索,并没有直接引用信息素的浓度选择最优的方向。从图 2 式(1)~式(3)可知,本文提出的确定 Tuned 模板方法是按照蚁群行为仿真得到的,因此有必要作进一步的分析和研究。

### 3 影像纹理分类的蚁群行为仿真组合算法(GASPXAS)

§2 阐述了引用蚁群行为仿真寻求最优 Tuned 模板的思想,这个思想同时也体现出蚁群行为仿真在影像纹理分类中的应用。前面曾提到,模板最优元素的寻求是建立在一定数量模板的基础上,一定数量的模板可以随机地确定,也可以从遗传算法(GA)的群体中得到。在这里介绍 GA 与蚁群行为仿真组合的算法(GASPXAS)。GASPXAS 中 SPX 是 SIMPLEX(单纯形)<sup>[6]</sup>的简

写,表 3、表 4 列出的结果是 GA+SPX+AS 的组合结果。具体做法如下。

1) 由 GA 算法得到 20 个模板和与其相应的适应度。

2) 按适应度的大小排序,最大的排在最前面,最小的排在最后面,把最前面的 3 个模板拷贝到下一代中,如图 3 所示。

3) 将剩下的 17 个模板随机分成 5 组,每组 3 个,不能重复选择。每组再加入排在前面的 3 个模板,这样每组都由 6 个模板组成。

4) 对每组 6 个模板,按 §2 中蚁群行为仿真

算法计算最优模板,即  $p_i = w_i a_i / \sum_{i=1}^6 w_i a_i, x_j =$

$\sum_{i=1}^6 p_i a_i (j = 1, 2, \dots, 10)$ 。值得注意的是,模板中元素  $a_i$  的取值可正可负,可能出现  $p_i < 0$  和

$\sum_{i=1}^6 w_i a_i = 0$  的情况。为了避免这种情况发生,  $p_i$

取绝对值,当出现  $\sum_{i=1}^6 w_i a_i = 0$  时,用一个小正值  $\epsilon$  代替。

5) 将蚁群行为仿真求得的 5 个模板存入下一代中,如图 3 所示,再用当前代中的 20 个染色体(模板),采用 GA 交叉、变异操作产生 12 个模板,存入下一代,构成新一代群体(总数为 20 个)。

6) 用新群体重复步骤 2)~5),直至满足要求为止。

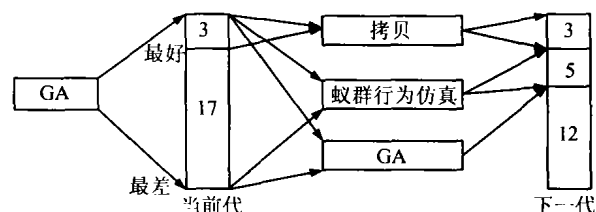


图 3 GASPXAS 算法略图

Fig. 3 GASPXAS Algorithm

### 4 试验与分析

为了验证组合算法对影像纹理分类的有效性,本文选用了 5 种不同类别的航空影像作纹理分类的试验,其中灌木 47 幅,居民地 23 幅,水田 13 幅,山地 20 幅,旱地 15 幅,像幅大小均为 100 像元×100 像元(这里每幅图像中仅含一种纹理图像,若在一幅图像中含多种纹理图像,则先进行图像分割,然后再用本方法识别每一区域的属性)。将每一类影像抽出 3 幅,共 15 幅列在图 4

中。从第一幅开始依次是灌木(图 4(a)~4(c))、居民地(图 4(d)~4(f))、水田(图 4(g)~4(i))、山地(图 4(j)~4(l))、旱地(图 4(m)~4(o))。

同时,本文还试验分析了增加迭代次数对分类效果的影响,并与 GA 算法作了对比。试验结果分析如下。

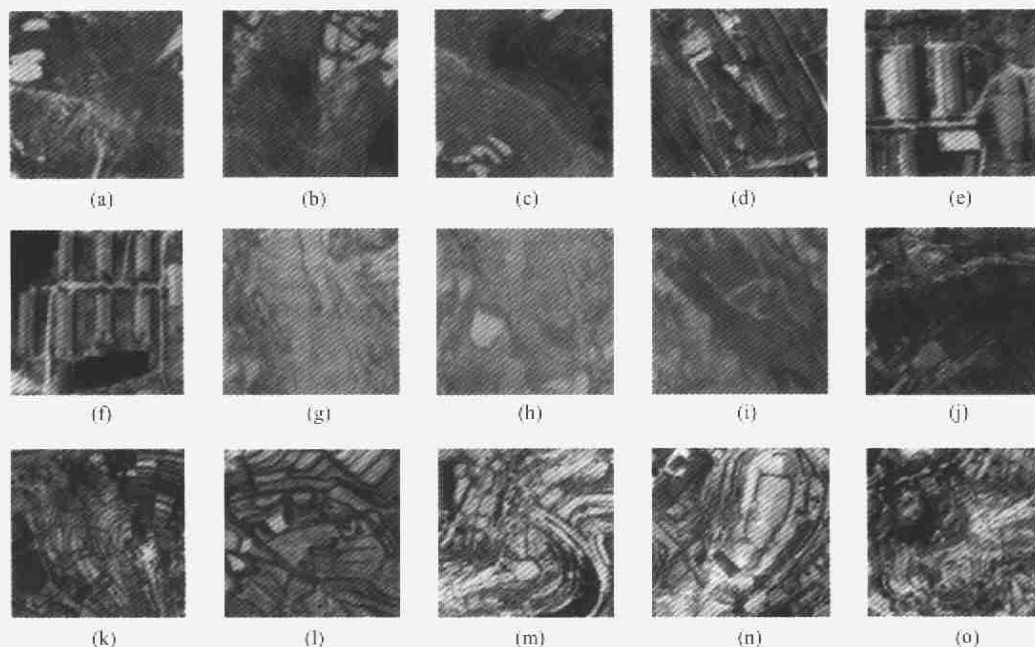


图 4 试验结果图

Fig. 4 Results of Experiments

表 3 两种方法的正确识别率

Tab. 3 Discrimination Rates for Two Methods

	灌木	居民地	水田	山地	旱地	平均值
GA	0.84	0.82	0.85	0.76	0.81	0.816
GASPXAS	0.80	0.93	0.90	0.90	0.84	0.875

表 4 迭代次数对应适应度值的影响

Tab. 4 Influence Iteration Times on the Value of Fitness

组号	GASPXAS		GASPXAS 与 GA 相间				
	15	15	23	32	44	60	100
1	1.45	1.56	1.60	1.62			
2	3.97	4.12	4.57		6.19		
3	6.87	7.91					
4	8.31	9.07					
5	3.42	3.7			4.07		
6	7.41	8.32		8.44		8.45	
7	2.57	3.13	3.23		3.24		3.46
8	5.85	5.19	5.34	6.33		6.64	

1) 本文提出的 GASPXAS 纹理分类算法优于单独使用 GA 算法。从表 3 中两种方法的正确识别率的平均值可见,蚁群行为仿真组合算法 GASPXAS 的分类效果较好,从单个类别的分类效果来看,除了灌木以外,其余 4 类的分类效果与平均值一致。

2) 在研究中还进行了两个方案的试验,一是在整个计算过程中只用 GASPXAS 方法;另一个是在计算过程中 GA 与 GASPXAS 相间进行。结果表明,在相同迭代次数的情况下,后一个方案

的适应度值一般都大于前一个方案的相应值。

表 4 中列出 8 组适应度值,从迭代次数为 15 的这两列数据可见,两种方法中相间计算方案的适应度值较大。随着迭代次数的增加,适应度值略有增加,但是没有迭代次数增加得快。

3) 迭代次数任意地增加不会提高影像纹理分类的正确识别率。

表 5 迭代次数对识别率的影响

Tab. 5 Influence Iteration Times on Discrimination Rate

迭代次数	旱地	水田	河流	山地
15	0.85	0.80	0.69	0.85
23	0.85	0.80		
51			0.66	0.85
61	0.85	0.80		
100			0.69	0.85

从表 5 可见,随着迭代次数的增加,正确识别率没有随着提高,如山地的识别率,迭代次数为 15 时,识别率为 0.85;迭代次数为 100 时,识别率也为 0.85。从以上试验效果分析,可以得到如下结论。

1) GASPXAS 组合算法是一种有效的纹理分类方法,它比 GA 算法效果好。

2) 用本文提出的组合算法,不要任意增加迭代次数,一般 10~20 次为宜。过多地增加迭代次数并不会给分类质量带来很明显的改善,只会增加计算量。

## 参 考 文 献

- 1 陈国梁,王煦照,庄镇泉. 遗传算法及应用. 北京:人民邮电出版社, 2001
- 2 Deneubourg J L, Aron S, Goss S, et al. Self-organizing Exploratory Pattern of the Argentine Ant. *J. Insect Bahav.*, 1990,3(2):159~169
- 3 Colorini A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed Optimization by Ant Colonies. *The 1st European Conf. Artificial Life, Pans, Elsevier*, 1991
- 4 郑肇葆. 协同模型与遗传算法的集成. 武汉大学学报·信息科学版, 2001,26(5):381~385
- 5 郑肇葆,郑 宏. 产生纹理“Tuned”模板的遗传算法. 模式识别与人工智能, 2001,14(1):119~122
- 6 郑肇葆. 遗传算法与单纯形法组合的影像纹理分类方法. 测绘学报, 2003,32(4):325~329

第一作者简介:郑肇葆,教授,博士生导师。现主要从事摄影测量与遥感、图像分析与解译及进化计算应用的教学和科研工作。代表成果:数学规划在测量数据处理和图像处理中的应用;图像处理的马尔柯夫随机场方法。

E-mail: zbzheng@wtusm.edu.cn

## Image Texture Classification Based on Ant Behavior Simulation

ZHENG Zhaobao<sup>1</sup> YE Zhiwei<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper introduces the concept of ant behavior simulation and proposes a new method as an application of ant behavior simulation for make a mathematical model to produce tuned template which is used to classify aerial image texture. At the same time, in order to test the correctness of the model, we have made some trials, and the experimental results which have been compared with genetic algorithm shows that the new method is correct and valid.

**Key words:** ant behavior simulation; genetic algorithm; classification of image texture

**About the first author:** ZHENG Zhaobao, professor, Ph. D supervisor. He is engaged in the teaching and research work on photogrammetry and remote sensing, image analysis and interpretation and the application of evolutionary computer. His main research effort concerns the application of mathematical programming in data and image processing, and Markov random field method in image processing.

E-mail: zbzheng@wtusm.edu.cn

(责任编辑: 涓涓)

## 欢迎订阅《测绘信息与工程》

《测绘信息与工程》为测绘专业应用技术期刊,其宗旨是:贯彻从生产中来、到生产中去的办刊原则,面向测绘行业发展的实际需要,发表对测绘行业具有直接指导作用的技术、管理和教育文章,架设沟通测绘研究与应用联系的桥梁,普及测绘科学新技术,提高测绘行业的技术含量及从业人员的技术水平。本刊开辟的栏目均面向读者需要,并已形成特色和优势,具有较好的社会适应性。本刊为湖北省优秀期刊。

本刊国内外公开发刊,读者对象为测绘及相关专业的技术人员、管理人员、教育人员以及大学生、研究生等。本刊为双月刊,A4开本,56面,逢双月5日出版,每册定价4.0元,邮购价加25%。本刊邮发代号:38-316,请广大读者到各地邮局订阅。漏订者可与本刊编辑部联系补订。