

文章编号:1671-8860(2008)07-0665-04

文献标志码:A

# Cognitive Agent 在图像分割中应用的研究

郑肇葆<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:**在介绍了 Cognitive Agent(CogAg)来源和特点的基础上,阐述 CogAg 图像分割的原理和方法。这种方法中供 CogAg 搜索的环境是数字图像,这个环境(又称 Artifact)中每个像元为 CogAg 提供用于分割的 4 个特征信息:局部平均灰度、局部标准差、局部能量和局部分形维,这些信息提供 CogAg 思考、推理、决策选择同质像元。经实际航空影像分割的实验和对比,CogAg 图像分割方法是很有应用前景的方法。

**关键词:**Cognitive Agent; Stigmergy; 图像分割

中图法分类号:P237.3

Cognitive Agent(可认知的智能体,CogAg)是来自 Cognitive Stigmergy<sup>[1]</sup> 中的术语,Cognitive Stigmergy 来自 Stigmergy 中的术语。Stigmergy 是生物学系统自组织方法的三个机制——Stigmergy、Reinforcement 和 Cooperation 之一<sup>[2]</sup>。

早在 20 世纪 50 年代,Grasse 提出第一个明确表达的 Stigmergy 概念:“Stigmergy 是一种在动物与动物之间相互作用的协调机制,是在集团水平上协调的行为,是实现突生行为的基础。”这里所说的“动物”就是以后常用的 Agent,“动物”之间的相互作用是通过一个“中介(媒体)”进行的,这个“中介”就是 Stigmergy 机制中的“环境”,可以说 Stigmergy 机制是由 Agent 和“环境”组成的。

Cognitive Stigmergy 与 Stigmergy 的区别在于前者的 Agent 不再是简单的一个昆虫(或称为动物,它没有认知的能力),而是具有认知、推理、思考、自适应和学习的能力,因此,称这样的 Agent 为 Cognitive Agent,其中的环境不再是简单的“景观”,起中介的作用,它已经抽象为工具或设备,具有为 Agent 完成某项任务,提供其“意向”的功能,把具有这样一个特点的环境称为“Artifact”。

从以上的介绍可知,现在的 Agent 已经不是简单的一只蚂蚁,而是具有认知能力的 CogAg,

CogAg 工作的“环境”不仅是蚂蚁使用的信息素,而是为 Agent 完成任务提供所需的资源和工具,如用 Agent 作图像分割,环境应为 Agent 提供像元的特征。笔者曾经利用蚁群行为的仿真作了影像纹理分类和影像分割的研究<sup>[5-6]</sup>,取得一定的效果,认为用 CogAg 取代蚂蚁进行图像分析,可以得到更好的结果,这是本文研究的目的。

## 1 CogAg 图像分割的原理

蚁群行为仿真的图像分割是用 Agent 进行图像分割的典型例子<sup>[6]</sup>,在这个例子中蚂蚁携带的信息素与环境(数字图像)中信息素作比较,找出同质像元,完成图像分割的任务。在这种分割方法中,选用不同的特征作信息素,会有不同的分割结果,这已在文献[6]中得到证明。在 CogAg 图像分割中,充分利用“Artifact”环境的特点,这里的环境不再是“风景”(对蚂蚁来说是地表面),或不仅仅是一幅数字图像(对于图像分割而言),而是每个像元携带许多图像特征的“图像”,这些特征是在一定范围内求得。究竟携带哪些特征,这由 CogAg 要完成的任务(即“意向”)决定,因为 Artifact 环境为 CogAg 提供意向资源,而且可以为不同的 CogAg 共享。

对于 CogAg 图像分割而言,环境中每个像元携带 4 个特征(本文采用 4 种)。

1) 像元局部区域的灰度均值  $\text{mean}(i, j)$ 。在  $3 \times 3$  窗口中求得:

$$\text{mean}(i, j) = \left\{ \sum_{l=-k}^k \sum_{m=-k}^k g(i+l, j+m) \right\} / N, k = 1 \quad (1)$$

式中,  $g(i, j)$  表示像元的灰度;  $\text{mean}(i, j)$  为以像元  $(i, j)$  为圆心  $3 \times 3$  窗口中所有像元灰度  $g(i, j)$  的均值;  $N$  为  $3 \times 3$  窗口中像元的总数。

2) 像元局部区域的标准差  $\text{std}(i, j)$ 。在  $3 \times 3$  窗口中求得:

$$\text{std}(i, j) = \sqrt{\sum_{l=-k}^k \sum_{m=-k}^k (g(i+l, j+m) - \text{mean}(i, j))^2 / N} \quad (2)$$

式中,  $\text{std}(i, j)$  为像元  $(i, j)$  的标准差, 其他符号意义同上。

3) 像元局部区域的能量  $E(i, j)$ 。图像  $g(i, j)$  的大小为  $N \times N$ , 模板  $A(l, m)$  大小为  $5 \times 5$ , 模板和图像作卷积的卷积图像为  $F(i, j)$ :

$$F(i, j) = A * g = \sum_{l=-2}^2 \sum_{m=-2}^2 A(l, m) \times g(i+l, j+m) \quad (3)$$

式中,  $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ;  $*$  为卷积运算符。在卷积图像较大窗口  $wx \times wy$  ( $wx = wy = 9$ ) 中产生纹理能量  $E(i, j)$ :

$$E(i, j) = \sum_{wx} \sum_{wy} \frac{F(i, j)^2}{wx \times wy \times p^2} \quad (4)$$

式中,  $p^2 = \sum_{wx} \sum_{wy} F(i, j)^2$ 。

4) 像元局部区域的分形维  $F_m(i, j)$ 。分形维的计算引用参考文献[7]中的方法和数学模型, 由于篇幅关系, 这里仅列出最后的计算公式:

$$F_m = 3 - H \quad (5)$$

$$H = -\lg \frac{N(r)}{N(1)} / \lg r \quad (5)$$

式中,  $r$  为图像上选取正方形的边长;  $N(r)$  表示  $r \times r$  面积内图像灰度曲面被  $r^3$  立方体覆盖的个数;  $N(l)$  表示  $r=l$  时的  $N(r)$ 。这里分形维  $F_m$  是在  $9 \times 9$  局部区域里计算的。

按式(1)、式(2)、式(4)和式(5)计算出图像中每个像元的局部区域中的  $\text{mean}(i, j)$ 、 $\text{std}(i, j)$ 、 $E(i, j)$  以及  $F_m(i, j)$ 。在每个像元具有上述 4 个特征的环境中, 为 CogAg 完成图像分割的任务提供需要的资源。

当一个 CogAg 进入一幅图像以后, 假定位于  $(i, j)$  处, 它就携带  $(i, j)$  处像元的 4 个特征。与其 8 个近邻  $1, 2, \dots, 8$  (图 1) 的相应特征进行比较,

取其差值最小的近邻, 同时记录其相应的编号, 并统计相同编号的个数。取统计个数最多的近邻作为与中心像元  $(i, j)$  同质的像元, 该像元又作为新的中心像元, 与其 8 个近邻作比较。重复上述过程, 如此反复直到完成分割工作为止。

1	2	3
4	$(i, j)$	5
6	7	8

图 1 近邻编号

Fig. 1 Neighbour Pixels' Codes

## 2 CogAg 图像分割具体过程和分割质量评价

在说明分割具体过程之前, 说明两个在分割中遇到的具体问题。

1) CogAg 在搜索同质像元时, 寿命的周期为 30 次。对于第一次进入数字图像的 CogAg 携带的特征信息, 取用它进入图像第一个像元的 4 个特征信息, 经过 30 次搜索以后, 该 CogAg 死亡, 产生一个新的 CogAg, 它携带的特征信息应为已搜索到 30 个同质像元 4 个特征各自的平均值, 并作为新 CogAg 携带的新特征信息。

2) 关于同质近邻像元的选择原则, § 2 提出选用拥有差值最小的相同序号数最多者选为同质近邻像元, 这是正常情况。实际上还会遇到以下几种情况:

① 4 个特征的差值最小的序号均没有相同的, 则选用 4 个特征差值次小的序号; 若有相同者, 仿正常情况处理, 作出选择。

② 若①不满足, 观察差值最小的序号与差值次小的序号是否有相同的, 相同数最多的近邻作为选择对象。如表 1 所示, 在差值最小和次小两列中自身均没有相同的序号, 为 4、6、3、8 和 1、3、5、7, 但是两列相互比较均有相同的 3, 故选择近邻序号 3 的像元为同质的。

表 1 第②种情况的选择

Tab. 1 Selection Method of the Second Case

特征	差值最小序号	差值次小序号	选
择局部均值	4	1	
局部标准差	6	3	
局部能量	3	5	3
局部分形维	8	7	

③ 差值最小序号中没有相同编号, 差值次小序号中也没有相同编号。在这种情况下存在两种可能(除②情况外):

● 差值最小与差值次小中没有相同的编号, 则终止 CogAg 的搜索, 启用另一个新的 CogAg。

● 差值最小与差值次小中存在相同的编号, 但是该编号像元已被检测使用过了, 则终止 CogAg 的搜索, 启用新的 CogAg。

CogAg 用于图像分割的步骤如下。

1) 按式(1)、式(2)、式(4)和式(5)计算出每一个像元的 4 个特征, 并储存在计算机中;

2) 根据实际情况, 任意选取一定数量的位置作为 CogAg 的初始位置, 相应像元的 4 个特征作为 CogAg 初期携带的 4 个特征信息;

3) 按同质近邻像元选择的原则, 搜索下一个同质近邻。注意每一个 CogAg 的寿命只有 30 次。新 CogAg 携带的特征信息应更换为当前已检测出同质像元的 4 个特征各自的平均值。

4) 对不同质影像区域, 设定一个近似的灰度阈值, 该值可以从 Photoshop 中读取。

图像分割质量的评价。如图 2 所示, 四边形是图像上一个真实目标, 围绕四边形的封闭曲线是分割图像的边界。“\*”是在四边形边界上选择供精度评价用的点。在 Photoshop 中量测 \* 点坐标的理论值  $(x, y)$ , 同时量测分割边界上相应点的  $(x', y')$ , 用坐标差值  $\Delta_1$  和  $\Delta_2$  计算中误差, 作为分割质量的评价。

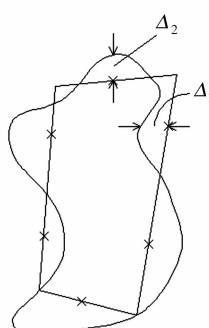


图 2  $\Delta$  值示意图

Fig. 2 Value of  $\Delta$

### 3 实验与分析

笔者利用 3 幅大小为 100 像元  $\times$  100 像元的航空影像进行实验, 如图 3 所示。

为了对比分割的效果, 选取参考文献[6]中分割效果最好的结果作对比, 即取用以分形维作信息素的分割结果, 并经过精处理以后的三幅图像,

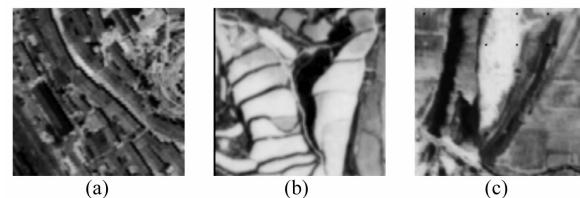


图 3 原始图像

Fig. 3 Three Raw Images Used in Experiments

如图 4 所示。

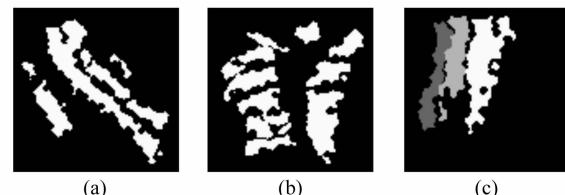


图 4 文献[6]中最好的三幅图像

Fig. 4 Three Best Segmented Images in Reference [6]

用本文方法得到图像分割的结果如图 5 所示。

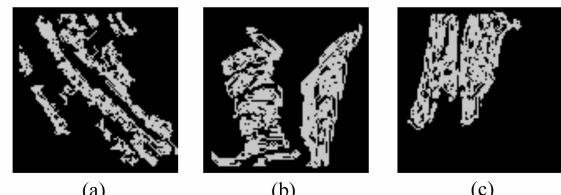


图 5 用 CogAg 图像分割的效果

Fig. 5 Segmented Results with CogAg

由实验结果的分析可知。

1) 对照图 3、图 4 和图 5, 从视觉效果上可以看出, 可认知的 Agent(即 CogAg)分割效果较好。这是因为蚁群算法中蚂蚁(即普通的 Agent)在搜索中仅携带一种信息素, 没有思考、推理、学习的能力。本文所采用的 CogAg 本身带有 4 种特征信息, 它所在工作环境中的每个像元均提供自身的 4 个特征信息, 这些信息为 CogAg 搜索下一个同质像元的选择、推理提供了资源, 推理中考虑到特征差值最小, 次小以及最小与次小之间的关系作出选择决策。正由于如此, 图 5 的分割结果, 尽管没有经过精处理, 与图 4 相比仍然可以看出它的优势, 整个轮廓完整清楚。

2) 分割结果的定量评价表明, 采用 CogAg 分割质量优于蚁群算法。应用分割质量评价方法, 对图 3 的 3 幅图像的待分割区域的边界上选取供检查用的边界点: 37 个(对图 3(a)), 37 个(对图 3(b)), 36 个(对图 3(c)), 其精度计算结果

如表2所示。

表2 图4、图5分割结果的中误差(无单位)

Tab. 2 Root Mean Square Error of Fig. 4 and Fig. 5

方法	图3(a)	图3(b)	图3(c)
蚁群算法	2.66	2.76	2.77
本文方法(CogAg)	2.43	2.12	1.26

从表2中数据定量地验证CogAg分割方法的优越性。

总之,通过以上理论的分析和实验验证,表明CogAg分割方法具有一定的优越性,也存在一定的不足,即需要提供不同质区域之间灰度阈值的近似值。本文仅以图像分割为例,作了应用CogAg技术的尝试,其实CogAg技术不仅仅用于图像处理中,凡是需要“合作”或“增援”机制的处理中均可使用CogAg技术。

## 参 考 文 献

- [1] Ricci A. Cognitive Stigmergy: A Framework Based on Agents and Artifacts[C]. The Third European Workshop on Multi-Agent Systems, Brussels, Belgium, 2005
- [2] Mano J P. Bio-inspired Mechanisms for Artificial Self-organised Systems[J]. *Informatica*, 2006, 30

- [3] Barron P, Cahill V. Using Stigmergy to Co-ordinate Pervasive Computing Environments[C]. The 6th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA 2004), Lake District, United Kingdom, 2004
- [4] Aras R, Dutech A, Charpillet F. Stigmergy in Multi Agent Reinforcement Learning [C]. The Fourth International Conference on Hybrid Intelligent Systems—HIS' 2004, Kitakyushu, Japan, 2004
- [5] 郑肇葆,叶志伟. 基于蚁群行为仿真的影像纹理分类[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(8): 669-673
- [6] 郑肇葆. 基于蚁群行为仿真的影像分割[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(11): 945-949
- [7] 郑肇葆,黄桂兰. 航空影像纹理分类的最小二乘法和问题的分析[J]. 测绘学报, 1996, 25(2): 21-26

**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:zhengzb@whu.edu.cn

## Image Segmentation Based on Cognitive Agent

ZHENG Zhaobao<sup>1</sup>

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

**Abstract:** A new method, Cognitive Agent for image segmentation, is proposed. Then, the basic principle and the main idea of this method are introduced. There are four kinds of pheromones, i. e. pixel's gray local mean value, pixel's local standard deviation, pixel's local energy and pixel's local fractal value; which are extracted in neighbour pixels of each pixel and then regarded as the criterion of thinking, reasoning and decision-making of Cognitive Agent for selecting homogeneous pixels. The method is tested on three aerial images; and the experiments show that this proposed method is reasonable and promising in the future.

**Key words:** Cognitive Agent; Stigmergy; image segmentation

**About the author:** ZHENG Zhaobao, professor, Ph.D supervisor. He is engaged in the research work on photogrammetry and remote sensing, image analysis and interpretation and the application of evolutionary computation. 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: zhengzb@whu.edu.cn