

文章编号:1001-9081(2007)07-1647-04

## 群体智能在图像处理中的应用

王宇庆<sup>1,2</sup>, 刘维亚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

(wyq7903@yahoo.com.cn)

**摘要:**介绍了群体智能的概念和特点,阐述了群体智能在图像处理领域的应用。在此基础上,从人眼的视觉结构以及仿生学的角度出发,对基于群体智能的图像处理方法的基本思想进行了深入的分析 and 探讨,并与传统的图像处理方法进行了比较。群体智能利用的是群体的优势,通过构造某种形式的子单元簇,使分布于图像环境中的个体以自组织的方式涌现出图像本身所具有的某种特征。

**关键词:**群体智能;涌现;自组织

**中图分类号:** TP18 **文献标志码:** A

## Application of swarm intelligence in image processing

WANG Yu-qing<sup>1,2</sup>, LIU Wei-ya<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun Jilin 130033, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The concept and features of swarm intelligence were introduced. The applications of swarm intelligence in image processing were mainly discussed. On the basis of that, an in-depth analysis and discussion on the image processing approaches based on swarm intelligence from the human visual system and bionics point of view was given. It was compared with the traditional image processing approaches. Swarm intelligence benefits from the characteristic of colony and makes some image feature emerge with the self-organization of agents in the image environment by constructing some form of elementary unit cluster.

**Key words:** swarm intelligence; emergence; self-organization

### 0 引言

随着生命科学的不断发展,人们对于生命本质以及各种生命现象的认识已经不仅局限于生物学范畴,而是扩展到数学、计算机科学、信息科学等多个学科领域。许多研究人员开始对各种生命行为进行数学建模并用计算机对其进行仿真分析,从而诞生了大量用计算机构造的、具有生命行为的人工系统。在众多生命现象中,社会性动物(如蚁群、鱼群、鸟群等)的自组织行为引起了人们的广泛关注,大量模拟生物群体行为的理论和模型也相继出现,这就产生了所谓的“群体智能”。作为一种新兴的演化计算技术,群体智能在没有集中控制且不提供全局模型的前提下,为寻找复杂的分布式问题求解方案提供了基础<sup>[1]</sup>。

以数字图像作为数字生命所栖息的环境,把具有生命特征的个体随机分布在图像环境中,个体按照某种系统规则移动、繁殖或者进化。随着这个仿生学进程的不断持续,分布在图像环境中的种群特征也在不断发生变化,数字图像本身所具有的一些特点也逐渐涌现出来,这就是基于群体智能的图像处理方法的基本思想。群体智能作为进化计算的扩展,成为人工生命研究的重要内容,而数字图像由于本身所固有的一些特点,使其成为群体智能理论应用最广泛的领域之一。

### 1 群体智能的概念及特点

群体智能的研究起源于对社会性动物群体行为的模拟。社会性动物的妙处在于:个体的行为都很简单,但当它们一起协同工作时,却能够“突现”出非常复杂的行为特征。因此,群体智能的基本原理是以生物社会系统为依托,也就是由简单个体组成的群落与环境以及个体之间的互动行为<sup>[2]</sup>。从行为学的角度来看,社会性行为的等级处于行为等级的顶点<sup>[3]</sup>。作为一种生物社会性的模拟系统,群体智能利用局部信息产生难以估量的群体行为。

群体智能是受自然界生物群体所表现出的智能现象的启发而提出的一种人工智能模式,是对简单生物群体的涌现现象的具体模式研究<sup>[4]</sup>。该种智能模式需要以相当数目的智能体来实现对某类问题的求解功能。作为智能个体本身,其初始状态是随机的,在没有得到智能群体的总体信息反馈时,它在解空间中的行进方式通常没有任何规律,只有受到整个智能群体在解空间中行进效果的影响之后,智能个体在解空间中才能表现出具有合理寻优特征的行进模式。

在通常情况下,群体智能是指任何启发于群体生物的集体行为而设计的算法和分布式问题解决装置<sup>[5]</sup>。群体智能

收稿日期:2007-01-23;修回日期:2007-04-26。 基金项目:吉林省与中国科学院科技合作资金项目(2005SYHZ0010)。

作者简介:王宇庆(1979-),男,吉林长春人,博士研究生,主要研究方向:群体智能、图像处理; 刘维亚(1952-),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要研究方向:数据通信、图像处理。

具有以下特点<sup>[5]</sup>:

1) 群体中相互合作的个体是分布式的,不存在中心控制,因而它更能够适应当前网络环境下的工作状态,并且具有较强的鲁棒性,即不会由于某一个或某几个个体出现故障而影响群体对整个问题的求解。

2) 每个个体只能感知局部信息,不能直接拥有全局信息,并且群体中每个个体的能力或遵循的行为规则非常简单,因而群体智能的实现比较方便,具有简单性的特点。

3) 个体之间通过非直接通信的方式进行合作。由于群体智能可以通过非直接通信的方式进行信息的传输与合作,因而随着个体数目的增加,通信开销的增幅较小,也就是说,它具有较好的可扩充性。

4) 自组织。即群体通过简单个体的交互突现出复杂的行为。

## 2 群体智能在图像处理中的应用

群体智能研究最初主要在群体现象模拟等方面进行<sup>[4]</sup>,例如:鸟类聚集飞行行为研究、蚂蚁觅食行为研究、鱼群行为研究等。事实上,早期应用于图像处理的群体智能算法大多来源于这些模型。例如 MacGill 提出了一种基于 Boid 模型的图像处理方法<sup>[6]</sup>。Boid 模型是 Reynolds 在 1986 年提出的一个用于模拟鸟类聚集飞行行为的仿真模型<sup>[7]</sup>,这被认为是最早关于群体智能的研究。

在鸟类的群集行为中,每只飞行的鸟都遵循一些简单的规则,而正是在这种简单规则的共同制约下,鸟群之间的相互作用导致了群体秩序和谐的自然出现,这一过程被人们称为涌现。在 Boid 模型中,用计算机屏幕上的运动点代表鸟个体,这样的一群点就是鸟类的群体。给每个点设置坐标、速度等参量,这样就把现实世界中的鸟映射到计算机屏幕的虚拟世界中来。

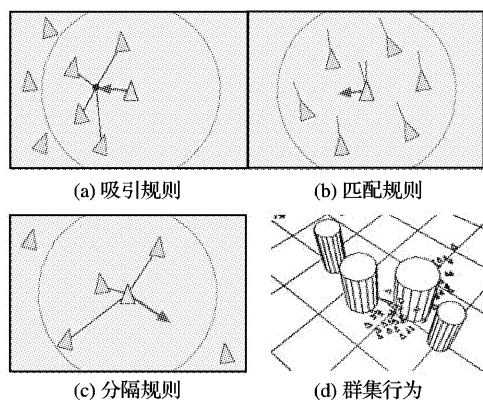


图1 Boid 的运动规则<sup>[7]</sup>

Boid 的行为方式由三条简单的规则决定:1) 吸引规则。每个 Boid 都要去尽量靠近它的邻居所在的中心位置,如图 1(a) 示,圆心处的 Boid 是当前的 Boid。2) 匹配规则。每个 Boid 的飞行方向尽量与周围邻居的飞行方向保持一致,如图 1(b) 示。3) 分隔规则。当 Boid 与某些邻居靠得太近的时候就会尽量避开,如图 1(c) 示。把这三条规则用计算机语言实现,则屏幕上的动点就会模拟出类似鸟类飞行的行为,如图 1(d) 示。

在 MacGill 的方法中,让 Boid 按照上述三条规则在图像

区域中飞翔,找到边缘的 Boid 会发出某种信号让其他的 Boid 飞过来,而当像素点并不是灰度变化很大的时候会发出信号让其他的 Boid 尽量避开。这样一些简单的规则就能把大部分的 Boid 都集中到图形边缘从而“涌现”出图形所具有的一些特征。

1992 年 Thearling 构建了一种依据遗传算法演化的人工生命群体,个体通过不断地“吃掉”图像中的错误像素点实现了二值图像的还原<sup>[9]</sup>。在 Thearling 的模型中,每一个智能个体的状态和行为都由相应的有限状态机控制,而状态机的输入为当前的环境状态。同时,状态机也规定了每一个智能个体的年龄等特征,从而使系统避免进入无限循环状态。每一个智能个体的染色体也就是这个智能个体的状态机。状态转换的结果有以下几种可能:1) 下一状态;2) 前后移动;3) 左右移动;4) 纠正原始像素。选择状态机的哪一种状态是由以下四类信息决定的:1) 当前状态;2) 像素的原始值;3) 是否纠正原始像素;4) 当前位置像素的灰度值。通过具有以上特征的并行工作的智能个体之间的相互作用,该算法成功地还原了被污损的灰度图像。

群体行为的研究和计算机仿真为群体智能算法研究及应用提供了思路。蚁群搜索食物源的过程被认为是一种具有代表性的群体智能现象。蚂蚁在运动的过程中,能够在它所经过的路径上留下一一种称为信息素的物质,并以此指导自己的运动方向,蚂蚁倾向于朝着该物质强度高的方向移动。因此,由大量蚂蚁组成的蚁群的集体行为便表现出一种信息正反馈现象。蚂蚁之间就是通过这种信息交流达到搜索食物的目的。Ramos 和 Almeida 提出了一种基于蚁群模型的图像分割方法<sup>[10]</sup>。他们将 Chialvo 和 Millonas 提出的蚁群模型<sup>[11]</sup>应用于数字图像处理领域。以图像作为蚁群栖息的环境,通过制定蚂蚁的运动规则,发现经过一段时间,蚁群能渐进地改变原数字图像,将图像转换为新的“蚁群栖息地”,从而实现了图像的分割。他们把图像分割视为一个聚类和组合问题。每个蚂蚁的状态由两个参数表示:位置和方向。蚂蚁的移动方向由转移概率决定。在初始时刻,蚂蚁的位置是随机的。

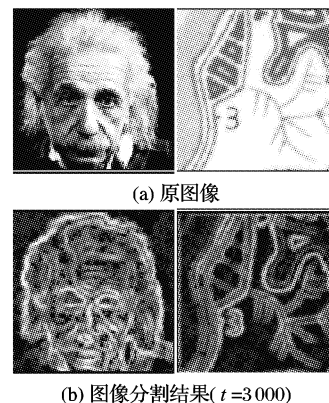


图2 基于蚁群模型的图像分割结果<sup>[10]</sup>

为了使群体的行为尽可能一致,对空间和时间进行了离散化的处理。每个蚂蚁在每个时间步行进一步,同时,其输入也要受到 8 个邻居单元的信息素浓度影响,蚂蚁也会在每个时间步在其所驻留的位置留下一定量的信息素。图 2 是应用该算法的图像分割结果。

何浩和陈艳秋 2001 年提出了一个人工细胞模型用来分

割图像<sup>[12]</sup>。以图像为培养基,每一个像素上有一个细胞。图像分割通过细胞代谢,即细胞与环境交换能量,以及细胞间交换能量来完成。细胞的代谢过程为:

$$x^{(k,l)}(n+1) = \varphi(x^{(k,l)}(n) + S - R)$$

$$S = [S_1, S_2, \dots, S_K]^T$$

$$S_L = \sum_{C(i,j) \in N_r(k,l)} \omega_{ij}^L x_L^{(i,j)}(n); L = 1, 2, \dots, K$$

$$R = [R_1, R_2, \dots, R_K]^T$$

其中 $S$ 为表示细胞 $C(k, l)$ 在其半径为 $r$ 的邻域 $N_r(k, l)$ 内获得能量的矢量, $\omega^L$ 为表示细胞第 $L$ 个特征的矩阵, $\omega_{ij}^L$ 为 $\omega^L$ 位于 $(i, j)$ 的元素, $x_L$ 为特征矢量 $x$ 的第 $L$ 个元素, $R$ 为表示能量消耗的矩阵, $\varphi$ 为表示细胞新陈代谢的函数。

在人工细胞模型中,细胞的状态以及进化方式遵循以下规则:

- 1) 母代细胞随机分布于培养基中。
- 2) 细胞在不同的环境影响下按照相应的规则产生变异。
- 3) 当细胞周围有空隙时,细胞会产生复制行为。存在于这些空隙中的是被复制的后代细胞。
- 4) 当细胞状态稳定之后,产生进化行为。

具有以上特征的细胞存在于图像培养基中,不同的细胞位于图像中的不同位置。细胞的各种进化方式取决于其所在位置的像素的特征,像素特征的不同决定了细胞不同的生长特性。当图像中的某些像素有利于细胞生长时,细胞就会不断吸取能量而发育成熟;相反,细胞会因为资源的贫瘠而趋于死亡。当系统达到平衡之后,不同类型的细胞具有不同的状态。每一种细胞都代表图像中的某一部分区域。这种方法的优点在于,能够有效地增强边缘特征并消除噪声,同时能够很好地表现出图像的细节。和中值滤波等方法相比,该方法取得了较好的效果<sup>[12]</sup>。图3是该方法和采用高斯-马尔可夫随机场方法的分割效果对比。



图3 基于人工细胞模型的图像分割结果<sup>[12]</sup>

针对图像纹理分类问题 ZHANG 和陈雁秋提出了应用于图像纹理分类的“人工爬行者”模型<sup>[13]</sup>。这里,具有生命特征的“人工爬行者”所驻留的环境不再是简单的平面图像,而是由以下方程描述的立体图像:

$$\{(x, y, f(x, y)) \in R^3: x, y \in R\}$$

原图像中灰度值大的像素对应的是环境中较低洼的区域。人工爬行者具有以下特征:

- 1)  $e_i(t)$ ,  $t$ 时刻第 $i$ 个爬行者的能量;
- 2)  $\delta_i(t)$ ,  $t$ 时刻第 $i$ 个爬行者所从属的群体;
- 3)  $\beta_i(t)$ ,  $t$ 时刻第 $i$ 个爬行者的位置。

图4为人工爬行者的生活环境。初始分布在图像中的爬行者具有相等的能量,在整个生命期内,由于能量的消耗以及环境的影响,爬行者的能量可能减小也可能增加,甚至由于能量的衰竭或者种群的竞争而导致该智能个体的死亡。爬行者环境中的移动,驻留,生存,死亡以及种群之间的竞争都要

遵循根据其特征制定的一系列规则。最终,爬行者群体与环境之间达到一种平衡状态。分布在图像中是具有各种特征的种群,不同类别的种群代表了图像的不同特征,图像的纹理特征也最终涌现出来。实验表明,该算法取得了良好的效果。

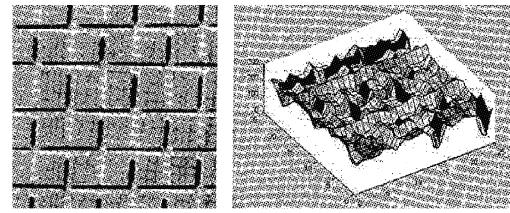


图4 人工爬行者的生活环境<sup>[13]</sup>

针对图像处理领域的不同情况,群体智能的方法逐渐得到了人们的重视。1994年 Franklin 和 Zhou 通过运用群体智能模型实现了光学文字识别<sup>[14]</sup>。1997年、1998年和1999年 Liu 和 Tang 提出了多个模拟生命体群集行为的人工生命模型实现了印刷体汉字的识别与分割<sup>[15-17]</sup>。2001年 Hamamehl 等人设计了一个群体智能模型,实现了脑医学图像的自动识别和分割处理<sup>[18]</sup>。2002年 Ramos 等人提出了能够识别和分类大理石纹理的群体智能模型<sup>[19]</sup>,进一步拓宽了群体智能在数字图像处理领域的应用。

### 3 群体智能应用于图像处理的机制探讨

神经心理学对人类视觉系统的研究表明:人类通过视觉观察事物经过两个阶段,首先是直觉阶段,然后是专注阶段<sup>[20]</sup>。对人类而言,视觉感知和对图像的快速理解很大程度上取决于并行的生物结构。以行为科学的观点,这些低层次的行为被认为是下意识的过程,过程本身没有受到任何集中控制也没有任何协调者。而目前的图像处理方法大多侧重于构建针对待处理图像的、预定义的、明确的模型或者算法,通过自上而下的若干图像变换和某些模式化的算法来完成图像处理。这些基于明确的统计模型或者针对每个像素特征的方法虽然在实际上得到了广泛的应用,但是也存在一些难以克服的问题,例如:对噪声过于敏感,灵活性和通用性不强等。因此,这些方法经常难以取得满意的效果。和传统的方法不同,群体智能利用的是群体的优势,不存在集中控制,也无需提供全局模型,采用的是自下而上的建模策略。通过对最小个体之间以及个体与环境之间的简单的作用规则或者演化方式的调整,就可以达到所需的全局演化行为。这种行为最终的结果就是使整个群体“涌现”出某种特征,而这种特征往往和这些最小个体所存在的环境,也就是图像本身的一些特征相联系。对于某些复杂的图像处理问题,传统的建模方法往往无法找到合适的形式化的模型,而现有的大量研究表明,对于这些问题,可以应用群体智能的方法,通过构造某种形式的子单元簇以自组织的方式使这些图像本身具有的特征突现出来。

群体智能的特点使它正在成为分布式人工智能研究的一个重要领域。它提供了设计智能系统的另一种选择途径,这种方法用自治、涌现和分布式运行代替了控制、预先编制程序和集中。它强调分布式,相对简单主体之间直接或间接交互作用(通信)、适应性和鲁棒性。Millionas 阐明了群体智能建模的五个基本原则<sup>[21]</sup>:近似原则、质量原则、反应原则、稳定原则和适应原则。对于群体智能在图像处理领域的应用,可

以将相关算法和模型所具有的特征归纳为以下几个方面:

1) 抽象性。这是群体智能应用于图像处理的前提与总的思路。作用于图像环境中的个体通常被抽象地描述为各种具有群集行为的智能个体。

2) 自繁衍。这是存在于图像环境中的种群得以延续和发展的基础。

3) 适应性。这里的适应性是指在个体与环境作生存斗争的过程中自然形成的以及随着环境的变化而变化的一些特征。

4) 自组织。所谓自组织是指具有相互作用的诸多子单元所形成的系统突现出单个子单元所没有的大范围性质。例如,由简单分子形成细胞,由形形色色的生物构成的生态系统等。这些分布在图像环境中的智能个体自组织的结果就是图像特征的涌现。

#### 参考文献:

- [1] 吴斌. 群体智能的研究及其在知识发现中的应用[D]. 北京: 中国科学院计算技术研究所, 2002.
- [2] 彭喜元, 彭宇, 戴毓丰. 群智能理论及应用[J]. 电子学报, 2003, 31(12): 1982 - 1988.
- [3] 史丰, 陈福民, 王忆源. 一种基于人工生命的群体动画[J]. 计算机应用, 2005, 25(12): 299 - 301.
- [4] 康琦, 汪福, 吴启迪. 群体智能与人工生命[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(6): 689 - 697.
- [5] KENNEDY J, EBERHART R C, SHI Y. Swarm Intelligence[M]. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [6] MACGILL J. Using flocks to drive a geographical analysis engine [C]// Artificial Life VI. USA: MIT Press, 2000: 453 - 466.
- [7] REYNOLDS C W. Flocks, Herds and schools: a distributed behavioral model [C]// Proceedings of Computer Graphics (SIGGRAPH87). New York, NY, USA: [s. n.], 1987: 25 - 34.
- [8] REYNOLDS C W. Boids: background and update[EB/OL]. [2006 - 12 - 31]. <http://www.red3d.com/cwr/boids>.
- [9] THEARLING K. Putting artificial life to work[C]// MÄNNER R. Proceedings of Parallel Problem Solving from Nature 2. Belgium: Elsevier Publishing, 1992: 8 - 39.
- [10] RAMOS V, ALMEIDA F. Artificial ant colonies in digital image habitats - a mass behaviour effect study on pattern recognition [C]// Processings of ANTS'2000 - 2nd International Workshop on Ant Algorithms(From Ant Colonies to Artificial Ants). Brussels, Belgium: N/A Place of Edition, 2000: 113 - 116.
- [11] CHIALVO D R, MILLONAS M M. How swarms build cognitive maps[C]// STEELS L. The Biology and Technology of Intelligent Autonomous Agents. Berlin: NATO ASI Series, 1995: 439 - 450.
- [12] HE H, CHEN Y Q. Artificial life for image segmentation[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2001, 15(6): 989 - 1003.
- [13] DUO Z, YAN Q C. Artificial life: a new approach to texture classification[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2001, 15(6): 989 - 1003.
- [14] FRANKLIN S, ZHOU L. Character recognition agents[C]// Artificial Life IV. Cambridge, MA: MIT Press, 1994: 301 - 306.
- [15] LIU J, TANG Y Y. An evolutionary autonomous agents approach to image feature extraction [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(2): 41 - 158.
- [16] LIU J, TANG Y Y. Distributed autonomous agents for Chinese document image segmentation [M]// Advances in Oriental Document Analysis and Recognition Techniques. Singapore: World Scientific Publishing Company, 1998: 97 - 118.
- [17] LIU J, TANG Y Y. Adaptive image segmentation with distributed behaviour based agents[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(6): 544 - 551.
- [18] HAMARNEH G, MCINERNEY T, TERZOPOU- LOS D. Deformable organisms for automatic medical image analysis[C]// Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Utrecht, Netherlands: Pays - Bas, 2001, 10: 14 - 17.
- [19] RAMOS V, PINA P, MUGE F. Mining textural features with artificial ant colonies - towards a dynamic and continuous classification of polished marble slabs[C]// 30th International Symposium on Computer Applications in the Mineral Industries. Phoenix, Arizona, USA: [s. n.], 2002: 25 - 27.
- [20] 毕胜, 梁德群. 基于人类视觉特性的纹理分割方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(5): 1015 - 1017.
- [21] PARSOPOULOS K E, VRAHATIS M N. Recent Approaches to Global optimization problems through particle swarm optimization [J]. Natural Computing, 2002, 1(2/3): 235 - 306.

(上接第 1636 页)

## 6 结语

本文结合 uHMT 模型和 Besov 空间标准, 提出一种基于多小波域 Besov 球交替迭代去除 SAR 图像滤波算法, 该算法对图像去噪和边缘结构保护都有很好的效果, 今后的工作重点是如何得到更有效的 Besov 球半径。

#### 参考文献:

- [1] LEE G. Refined filtering of image noise using local statistics[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1981, 15(4): 380 - 389.
- [2] DONOHO D L. Denoising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3): 613 - 727.
- [3] FOUCHER S, BENIE G B, BOUCHER J. Multiscale MAP filtering of SAR images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(1): 49 - 60.
- [4] CROUSE M S, NOWARK R D, RICHARD G B. Wavelet - based statistical signal processing using hidden markov models[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(4): 886 - 902.
- [5] JUSTIN K R, CHOI H, RICHARD G B. Bayesian tree-structured image modeling using wavelet-domain hidden markov models[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(7): 1056 - 1068.
- [6] CHOI H, RICHARD G. Multiple wavelet basis image denoising using besov ball projections[J]. IEEE Signal Processing Letters[J]. 2004, 11(9): 717 - 720.
- [7] DEVORE R A, JAWERTH B, LUCIER B J. Image compression through wavelet transform coding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 719 - 746.
- [8] CHAMBOLLE A, DEVORE RA, LEE N. Nonlinear wavelet image processing variational problems, compression, and noise removal through wavelet shrinkage[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3): 319 - 355.