

# 基于免疫遗传算法的自适应图像分割方法

王春柏, 赵保军, 何佩琨

(北京理工大学 电子工程系, 北京 100081)

**摘要:**提出了一种基于免疫遗传算法的图像分割新方法。利用生物免疫系统自调节、抗原识别和记忆功能,结合遗传算法对图像进行自适应区域阈值分割,试验结果表明该方法能够克服传统阈值方法对目标大小的限制,是一种有效的图像分割新方法。

**关键词:**免疫遗传算法; 免疫系统; 遗传算法; 图像分割

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)02-0178-03

## Adaptive segmentation method based on immune genetic algorithm

WANG Chun-bai, ZHAO Bao-jun, HE Pei-kun

(Department of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** A new method for image segmentation based on Immune Genetic Algorithm (IGA) is presented in this paper. Utilizing functions of self-adaptive, antigen recognition and memory of immune system, this method has combined with genetic algorithm to segment image. The experimental results indicate that this new approach is effective for image segmentation, which overcomes the limit of object comparing with other traditional ways.

**Key words:** Immune Genetic Algorithm (IGA); Immune system; Genetic algorithm; Image segmentation

## 0 引言

图像分割是图像处理中重要的环节之一,目标检测、识别与跟踪都取决于图像分割的质量,因此分割方法的选择直接影响到图像跟踪系统性能。与其他方法相比,阈值分割法运算简单有效,被广泛应用于实时性要求较高的场合<sup>[1~3]</sup>。最大类方差法(Otsu)、最小误差法(P-tile)等方法传统的阈值法。研究表

明<sup>[2]</sup>:在目标较大时,Otsu方法具有较好的分割效果,随着目标面积的减小,该方法的分割效果将明显下降。而对于P-tile方法需要已知目标在整幅图像中所占的面积比例。因此,对于目标大小的要求,一定程度上限制了上述方法的应用。

## 1 免疫遗传算法

免疫系统是生物体重要的功能系统,它具备自调

节、入侵抗原识别和记忆等功能<sup>[3]</sup>。遗传算法是对问题解进行染色体编码,通过遗传进化方法得到最优解的集群搜索方法,目前已被广泛应用于图像处理领域<sup>[4]</sup>。交叉、变异概率及适应度函数的确定是这种方法的关键因素。虽然这种优化方法具有传统方法无法比拟的并行性和鲁棒性,但仍存在未成熟收敛的明显缺陷。

近年来,人们通过生物免疫系统和遗传算法的结合,提出了免疫遗传算法(Immune Genetic Algorithm-IGA)<sup>[5]</sup>。将实际工程问题抽象为入侵抗原,将问题解抽象为消除入侵抗原的抗体,将免疫系统的抗体生成过程抽象为多峰值函数遗传优化是该算法的基本思想。免疫算法流程如图 1 所示。

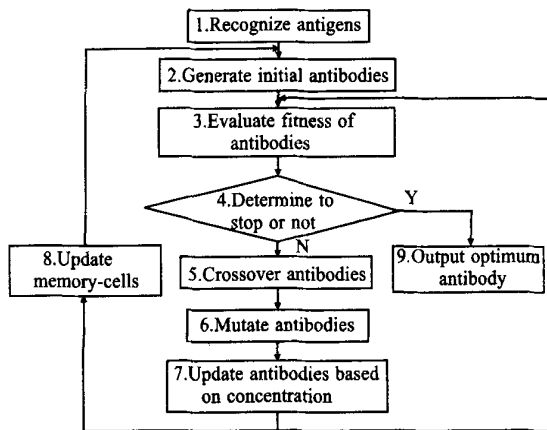


图 1 免疫遗传算法流程图  
Fig. 1 The flowchart of IGA

由图 1 可以看出,免疫遗传算法主要由下列步骤完成:

(1) 抗原识别及初始抗体群体产生。利用免疫系统识别功能,根据入侵抗原特征,判定是否为新型抗原。如果能够与记忆细胞库中已知抗原匹配,则从库中抗体集合初始化抗体种群,否则随机产生。

(2) 抗体群体遗传进化。根据遗传算法原理,用适应度函数评价群体中个体适应度,并按照选定交叉、变异概率进行遗传进化操作。

(3) 基于浓度的抗体群体更新。利用免疫系统的自调节功能,基于个体浓度进行群体更新,从而保证群体中个体的多样性,有效解决了遗传算法的未成熟收敛缺陷。个体浓度  $C_i$  定义为群体中相似个体所占的比例,即:

$$C_i = \text{相近适应度个体数目} / \text{个体总数}$$

(4) 记忆细胞库更新。利用免疫系统记忆功能,对如图 2 结构的记忆细胞库进行更新。库中抗体集合元素为群体遗传进化过程中每代生成的一定数目适应度较大的个体。

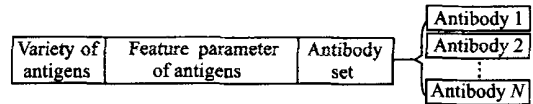


图 2 记忆细胞库结构图  
Fig. 2 Memory-cells of IGA

由上述步骤可知,免疫遗传算法将免疫系统的自调节、抗原识别和记忆等与遗传进化有机结合,解决了遗传算法未成熟收敛的明显缺陷,使其具备了更为优越的优化性能。

## 2 图像分割的免疫遗传算法

根据使用知识的特点与层次,图像区域阈值分割属于数据驱动分割方法,它依靠图像数据的特征阈值而将图像划分为目标和背景区域。其难点在于阈值的设定方法。现有的启发式搜索及优化算法不同程度上均存在收敛速度慢、易形成未成熟收敛等缺点。文中给出了基于免疫遗传算法的图像自适应阈值分割方法的具体实现,并与其他算法进行了比较。

### 2.1 入侵抗原及抗体编码

图像可视入侵抗原集合  $X = \{ X_1, X_2, \dots, X_n \}$ ,  $X$  表示整幅图像,  $X_i (1 \leq i \leq n)$  表示待分割图像区域。经过免疫遗传算法得到的最优阈值可视为免疫系统针对入侵抗原  $x_i$  产生的相应抗体。同时,抗体对应于遗传操作中的染色体,编码方式采用 8 位 0、1 符号的二进制编码。

### 2.2 记忆细胞库

根据是否为图像分割问题,确定抗原类别:0 表示无需分割,1 表示需要进行分割;提取抗原统计特征值,包括灰度直方图、最大和最小灰度作为抗原特征参数;文中设定库中抗体集合元素数量为 10,在每一代抗体群体更新时,将适应度最高的抗体选入记忆抗体集合。当记忆抗体集合满额时,则替换掉集合中

适应度最差的抗体。同时尽量避免含有相同的记忆抗体,以保持记忆抗体的多样性。

### 2.3 初始抗体群体产生

抗体群体对应于遗传算法中的人口群体,本文设定群体规模为 15。当有抗原入侵时,首先判定类别特征,然后根据特征参数与记忆细胞库中已知抗原进行匹配。如果是非已知抗原,则初始抗体群体全部随机产生;如果是已知抗原,则为保持群体多样性,群体中的 10 个个体全部由记忆抗体集合提供,其余 5 个仍然随机产生。

### 2.4 抗体群体的遗传进化

遗传进化操作采用基于浓度的轮盘赌选择机制、单点交叉和单次二进制翻转变异方法。交叉概率为 0.65,变异概率为 0.08,遗传世代数为 30 代。

适应度函数选用 Otsu 法的评价准则。Otsu 法通过阈值  $t$  将图像像素分为目标和背景两类,最大类间方差对应的阈值即为最优阈值  $t^*$ 。

$$\begin{cases} \sigma_b^2(t^*) = \max_{t \in (0, T-1)} \sigma_b^2(t) \\ \sigma_b^2(t) = \omega_0(t) \omega_1(t) [m_1(t) - m_0(t)]^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中  $\sigma_b^2(t)$  为类间方差;  $w_0(t)$  与  $w_1(t)$  分别为目标和背景的概率和;  $m_0$  与  $m_1$  分别为目标和背景的平均灰度。

### 2.5 基于浓度的抗体群体更新

为避免未成熟收敛,实现免疫系统的抗体间相互促进和抑制作用,在进化过程中利用抗体浓度取代经典遗传算法中的适应度比例选择机制进行群体更新。即群体中抗体的选择概率为:

$$P_S(i) = \alpha \times C \left| 1 - \frac{Fitness(i)}{Max\ Fitness} \right| + \beta \times \frac{Fitness(i)}{Max\ Fitness} \quad (2)$$

式中  $\alpha, \beta$  为  $[0, 1]$  的可调参数,文中  $\alpha$  为 0.4,  $\beta$  为 0.6;  $C$  表示抗体浓度;  $P_S(i)$  表示第  $i$  个抗体的选择概率;  $Fitness(i)$  表示第  $i$  个抗体的适应度;  $Max\ Fitness$  表示群体中抗体的最大适应度。

## 3 实验结果与分析

图 3(a)~4(a) 为两幅  $768 \times 576$  大小 256 级灰度红外图像,目标占整幅图像比例均不超过 2%。利用上

述免疫遗传算法进行了图像分割,并与经典遗传算法优化全局阈值的分割方法进行了比较。在经典遗传算法中采用基于适应度比率的轮盘赌选择机制,适应度函数仍然采用 Otsu 法的评价准则,遗传世代数为 30 代,交叉、变异参数及方法与免疫遗传算法相同。图 3(b)、4(b) 为经典遗传算法分割结果,所得全局阈值分别为 146、102。图 3(c)、4(c) 为文中提出的方法进行分割的结果。所有实验均在 Pentium IV2.0G 的 PC 机硬件平台上 VC++6.0 软件环境下完成。

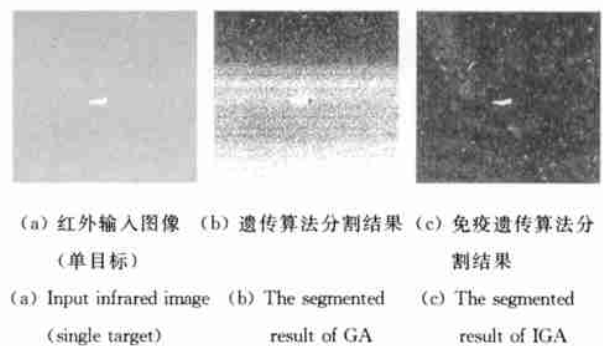


图 3 单目标红外图像分割结果

Fig. 3 Segmented result of original infrared image containing single target

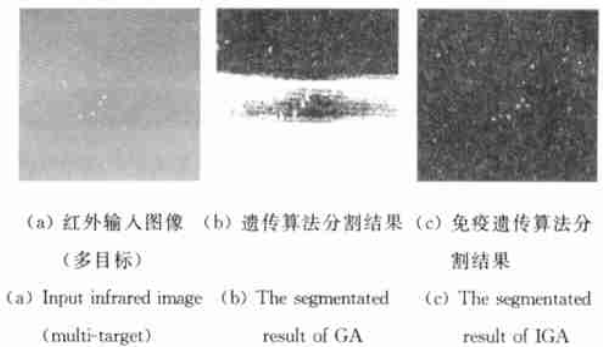


图 4 多目标红外图像分割结果

Fig. 4 Segmented result of original infrared image containing multi-target

对阈值分割方法研究表明<sup>[2]</sup>:当目标面积占整幅图像的 30% 时,一般传统方法都能对图像进行有效分割;当目标面积变小时,传统方法性能迅速下降;特别当目标极小时,传统方法已无效。图 3(b)、4(b) 恰好说明了这一点:尽管利用经典遗传算法一般在 10 代以内得到最优的全局阈值 107、153,但由于遗传算法采用 Otsu 评价准则作为适应度函数,而实际目标面积太小,导致分割效果很差。(下转第 193 页)

从表1的计算结果可以看出,当融合过程中没有引入噪声、融合方法运用得当的时候,图1(d)的信息熵、平均梯度、标准差、交互信息量和联合熵等指标都要优于图1(c),这与主观评定的结果是一致的,说明融合图1(d)从源图像中获取的信息最丰富。但图1(d)的偏差和相对偏差指标却低于图1(c),与实际情况不符,说明这两个评价指标判断有误。

但从表1中也可以看出,图2的信息熵、平均梯度、标准差和联合熵等指标却要高于图1(c),甚至高于图1(d),说明这几个评价指标在图像中引入噪声后判断失误,对噪声的抗干扰性很差。图2的偏差和相对偏差指标准确地判断出了噪声对融合图像的影响。

在实验中,可以看出只有交互信息量这个指标的判定结果始终与主观判定的结果保持一致。图1(d)的交互信息量要大于图1(c),而图2的交互信息量却远小于图1(c)和图1(d)。这就说明交互信息量可以正确地评价融合效果,同时具有抗干扰的性质。

### 3 结论

交互信息量是通过衡量融合图像与源图像的交互信息来评价图像融合效果的,具有很强的抗干扰性

(上接第180页)

对于图3(c)、4(c),虽然提出的图像分割方法中适应度函数仍然采用Ostu评价准则,但是由于免疫遗传算法的入侵抗原为区域图像,从而增大了目标相对于待分割图像的面积比例,并且解决了遗传算法未成熟收敛的问题,所以分割效果较为理想。

### 4 结论

提出了基于免疫遗传算法的图像分割新方法。该方法通过将生物免疫系统与遗传算法相结合,有效避免了遗传算法未成熟收敛的缺陷。实验结果表明这种方法与其他分割方法相比,具有目标面积及数量限制小、分割效果理想等优点,是一种有效的图像分割新方法。如何进一步增强算法对复杂多峰值图像的分割效果,减少运算开销及提高运算速度等问题都

和鲁棒性。由于它不需要源图像的先验知识,也不用对图像进行预处理以及定义其他的参数,因此它还是一种简单、实用的评价方法。

### 参考文献:

- [1] 陈勇,皮德富,周士源,等. 基于小波变换的红外图像融合技术研究[J]. 红外与激光工程,2001,30(1):15-17.
- [2] 贾永红,李德仁. SAR与TM影像的HIS变换复合及其质量定量评价[J]. 国土资源遥感,1997,32(3):34-39.
- [3] 王昱. 数字遥感影像构像质量评价方法初探[J]. 遥感信息,2000,15(4):32-33.
- [4] 江东,王钰,王建华,等. 多源图像信息融合的理论和技术[J]. 甘肃科学学报,2002,14(1):41-45.
- [5] 王海晖,彭嘉雄,吴巍. 一种多传感器遥感图像的配准方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2002,30(8):1-3.
- [6] Burt P J, Adelson E H. The laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Transactions on Communications, 1983, 31(4):532-540.
- [7] Toet A. Hierarchical image fusion[J]. Machine Vision and Applications, 1990, 3(2):1-11.

有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 王爱民,沈兰荪. 图像分割研究综述[J]. 测控技术,2000,19(5):1-6.
- [2] Lee S U, Chung S Y, Park R H. A comparative performance study of several global threshold techniques for segmentation. Computer Vision[J]. Graphics and Image Processing, 1990, 52(2):171-190.
- [3] 漆安慎,杜婵英. 免疫的非线性模型[M]. 上海:上海科技教育出版社,1998.
- [4] 郭英凯,杨杰,陆正刚. 基于模糊和遗传算法的阈值分割方法[J]. 红外与激光工程,2000,29(5):15-18.
- [5] 刘克胜,曹先彬,郑浩然,等. 基于免疫算法的TSP问题求解[J]. 计算机工程,2000,26(1):1-2.