

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **7**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012 年 7 月 第 17 卷 第 7 期(总第 195 期)

目 次

综述

中国多媒体技术研究: 2011 史元春, 徐光祐, 高原(741)

图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 蒋平, 张建州(770)

图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 路子赟, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 何海清, 黄声享(853)

计算机图形学

应用最小生成树实现点云分割 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

医学图像处理

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 兰红, 张璐(873)

遥感图像处理

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健      月刊(1996 年创刊)      第 17 卷 第 7 期      2012 年 7 月 16 日出版

|         |                                                                                                                         |                   |                                                                                                                                                      |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主管单位    | 中国科学院                                                                                                                   | Superintended by  | Chinese Academy of Sciences                                                                                                                          |
| 主 办     | 中国科学院遥感应应用研究所<br>中国图象图形学学会<br>北京应用物理与计算数学研究所                                                                            | Sponsored by      | Institute of Remote Sensing Application,<br>CAS China Society of Image and Graphics<br>Institute of Applied Physics and Computational<br>Mathematics |
| 主 编     | 李小文                                                                                                                     | Chief editor      | LI Xiaowen                                                                                                                                           |
| 编辑出版    | 《中国图象图形学报》编辑出版委员会<br>北京 9718 信箱 邮编 100101<br>电子信箱:jig@irsa. ac. cn<br>电话:010-64807995 010-82614429<br>网 址:www. cjig. cn | Editor, Publisher | Editorial and Publishing Board<br>of Journal of Image and Graphics<br>( P. O. Box 9718 ,Beijing 100101 ,China)<br>E-mail :jig@ irsa. ac. cn          |
| 印刷装订    | 北京北林印刷厂                                                                                                                 | Distributed by    | Beijing Bureau for Distribution of Newspapers<br>and Journals                                                                                        |
| 广告经营许可证 | 京朝工商广字第 0346 号                                                                                                          | Domestic          | All Local Post Offices in China                                                                                                                      |
| 总 发 行   | 北京报刊发行局                                                                                                                 | Foreign           | China International Book Trading Corporation<br>( P. O. Box 399 ,Beijing 100044 ,China)                                                              |
| 订 购     | 全国各地邮局                                                                                                                  | Printed by        | Beijing Beilin Printing House                                                                                                                        |
| 国外发行    | 中国国际图书贸易总公司<br>( 中国国际书店 )<br>( 北京 399 信箱 邮编 100044 )                                                                    |                   |                                                                                                                                                      |

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

( Monthly ,Started in 1996)

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China,2011 ..... Shi Yuanchun,Xu Guangyou,Gao Yuan(741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai,Yang Jingrong,Cao Yang,Wu Pengfei,Rao Ruizhong(748)  
Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke(756)  
Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping,Zhang Jianzhou(770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili,Fu Xiang(775)  
Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu(783)  
Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong(791)  
Automatic measurment for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong(798)  
Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang,Wang Lisheng(806)  
Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi(813)  
Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo(821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun(828)  
Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li(839)  
Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei(846)  
Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing,Huang Shengxiang(853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling(858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo(866)  
Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu(873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmemeber extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan(880)  
SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie(886)

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0866-07

论文引用格式: 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波. 病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 866-872.

## 病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择

张巧荣<sup>1</sup>, 朱长明<sup>2,3</sup>, 倪军<sup>3</sup>, 刘海波<sup>2</sup>

1. 河南财经政法大学计算机与信息工程学院, 郑州 450002;

2. 哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001;

3. 美国爱荷华大学卡佛医学院, 爱荷华 52240

**摘要:** 选择具有识别作用的超声图像淋巴结区域特征对临床诊断具有重要价值。针对目前特征选择算法收敛速度慢和容易陷入局部极小值的问题, 提出病毒协同进化的离散差分进化的颈部淋巴结超声图像特征选择算法。该算法主要利用病毒感染操作进行宿主个体的变异, 在维持宿主个体多样性的同时保留最优的搜索信息, 提高了算法的适应度函数值和进化速度。在临床颈部淋巴结超声图像中进行实验验证, 分类精度达到 98%, 而算法平均收敛迭代次数仅为 30 次, 表明本文所提算法是正确有效的。

**关键词:** 病毒进化; 离散差分进化; 超声图像; 特征选择

## Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images

Zhang Qiaorong<sup>1</sup>, Zhu Changming<sup>2,3</sup>, Ni Jun<sup>3</sup>, Liu Haiibo<sup>2</sup>

1. College of Computer and Information Engineering, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

3. Carver College of Medicine of the University of Iowa, Iowa, IA 52240, America

**Abstract:** Selecting regional features in ultrasound images of lymph nodes is important for clinical diagnosis. Most of the current feature selection algorithms are time-consuming and lead easily to a premature convergence. In this paper, a new novel discrete differential evolution (DDE) algorithm based on virus-evolution is presented to solve the cervical lymph nodes features selection problem. We call it virus-evolutionary discrete differential evolution (VEDDE) algorithm. Biological virus mechanism and the infection-based operation between host and virus are introduced in the DDE which can maintain the diversity of individuals while retaining the best search information and improve the fitness function value and the speed of evolution. The proposed algorithm has been tested on many clinical ultrasound images of cervical lymph nodes. The classification accuracy is 98% and the average number of iterations is only 30 times, which indicates that the proposed algorithm is valid.

**Key words:** virus-evolutionary; discrete differential evolution; ultrasound images; features selection

收稿日期: 2011-10-17; 修回日期: 2012-03-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(60803036); 国家教育部博士点专项基金项目(20092304120013); 中央高校基本科研业务费专项资金(HEUCFZ1010, HEUCF100604)

第一作者简介: 张巧荣(1978—), 女, 副教授, 2011 年于哈尔滨工程大学获计算机应用技术专业博士学位, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: zqrzqh@126.com

## 0 引言

目前颈部淋巴结超声图像具有很多淋巴结超声图像特征,而这些特征中哪些特征对诊断和疾病分类有价值一直是临床医生和 researcher 关注的焦点之一。以图像处理为基础的计算机辅助诊断主要是选择那些能够区分良性淋巴结和恶性淋巴结的图像特征。而众多特征中有些特征数据是冗余的,或者含有噪声。特征选择就是选择对分类有价值的特征,去除冗余和噪声,提高分类的精确度。目前主要的医学超声图像特征选择方法按照搜索策略可以划分为以下3种:基于全局最优搜索策略的特征选择方法、基于启发式搜索的特征选择方法和基于随机搜索策略的特征选择方法。

第1种方法主要有 Mohamed 等人<sup>[1]</sup>提出的互信息法和 Pereira 等人<sup>[2]</sup>提出的线性判别法。其中,互信息法的主要思想是通过互信息法去除相互冗余的特征,而线性判别法主要是在各特征互信息的基础上,选择那些使得特征之间的类内距离最小而类间距离最大的特征。尽管这些方法与分类器的选取无关,但是其缺点是不能有效结合分类结果来指导特征值的选择,另外不具有临床鉴别意义。

启发式搜索法<sup>[3]</sup>主要是根据每个特征值的选择对分类结果的影响在解空间来启发式地寻找最优解,该方法的缺点是速度慢,并且容易陷入局部极小值。

在第3种方法里主要有遗传算法<sup>[4]</sup>和离散粒子群算法<sup>[5]</sup>等方法。遗传算法和离散粒子群算法属于群集智能的方法,它们能够通过种群的优化取得较好的最优解,但是它们也容易陷入局部极值的问题。

因此,针对目前特征选择存在的问题,提出一种基于病毒协同进化的差分进化算法来进行特征选择。差分进化(DE)算法解决连续优化问题非常有效,但是不能有效处理离散优化问题,针对该问题本文在改进算法中为了维护个体的多样性,引入了生物病毒机制和宿主与病毒基于感染操作等思想,利用病毒的水平感染和垂直传播能力有效地提高了差分进化算法的性能。

## 1 理论基础

### 1.1 差分进化算法

Storn 等人提出的 DE 算法实质上是一种基于

实数编码的具有择优思想的贪婪遗传算法,具有记忆个体最优解和种群内信息共享的特点,即通过种群内个体间的合作与竞争来实现对优化问题的求解,其算法流程图如图1所示<sup>[6-7]</sup>。从图1可知 DE 算法的主要思想是从某一随机产生的初始种群开始,通过把种群中任意两个个体的向量差加权后按一定的规则与第3个个体求和来产生新个体,然后将新个体与当代种群中某个预先决定的个体相比较,如果新个体的适应度值优于与之相比较的个体,则在下一代中就用新个体取代旧个体,否则旧个体仍保存下来,通过不断地迭代计算,保留优良个体,淘汰劣质个体,引导搜索过程向最优解逼近,直到满足精度要求或停止条件。

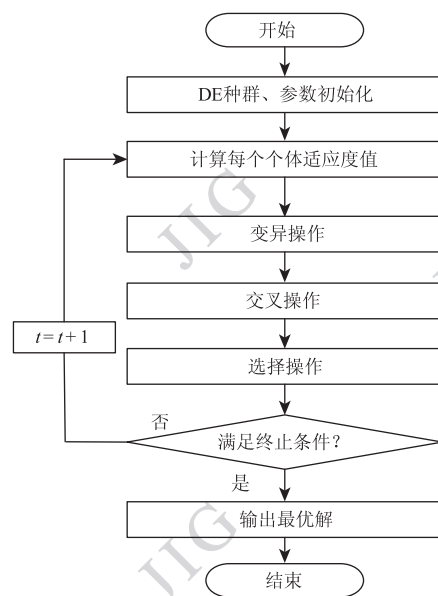


图1 DE 算法流程图

Fig. 1 Flowchart of DE algorithm

由于基本差分进化算法是基于实数编码的,因此其多应用于连续优化问题,对于离散优化问题的应用较少。而本文所研究的问题是离散优化的问题,接下来着重介绍离散差分进化算法。

对于离散优化问题而言,优化解空间是离散点的集合,不是连续空间,使用 DE 算法对离散问题进行优化有两类方法:一类是将基于实数编码的传统 DE 算法映射到离散编码空间,或者对问题进行变形;另一类直接针对解的离散解空间进行编码,但是在变异过程中提出新的能够产生二进制的变异方法。第1类方法有 Pampara 提出的 AMDE (angle modulation differential evolution) 算法<sup>[8]</sup>,Engelbrecht 提出的 NormDE (normalization differential evolution)



算法<sup>[9]</sup>和 BinDE<sup>[9]</sup>算法。第 2 类方法有 Pan 等人<sup>[10]</sup>提出的 DDRLS (discrete differential evolution with referenced local search) 算法和 Gong 等人<sup>[11]</sup>提出的 BDE (binary differential evolution) 算法。

## 1.2 病毒进化算法

生物病毒系统是免疫系统的一个主要组成部分,其具有的信息处理机制和功能特点,例如病毒不同个体的不同行为、病毒个体和宿主个体的自然划分、病毒与宿主基于感染操作的协同等,这些机制和特点为设计新的智能算法和改进现有的智能进化算法具有重要的现实意义和发展前景。

病毒根据其进化理论,属于一种特有的生物,具有一种特殊的病毒感染功能。病毒能够获取一个体的染色体基因,并且通过病毒感染传给另一个体,将该个体被感染的部分染色体发生变化,改变这个个体的遗传信息。该遗传信息又通过遗传传给下一代个体,从而大大加速了生物的不断进化换代。1996 年 Kubota<sup>[12]</sup>提出了基于病毒进化理论的遗传算法 VEGA (virus co-evolution genetic algorithm),并成功地用于求解旅行商问题,胡仕成等人<sup>[13]</sup>用改进的病毒协同进化遗传算法求解多模式调度问题, Ji 等人<sup>[14]</sup>利用病毒协同进化粒子群优化算法对水电站操作进行优化等,显示了病毒协同进化算法与其他优化算法相结合求解 NP-hard 优化问题的优越性。

病毒进化操作步骤如下:

1) 病毒感染 (virus\_infection), 也称反向代换 (reverse transcription): 使用病毒的个体基因来更替宿主个体 (Host) 相应的基因, 这样就产生了一个新的宿主个体, 如图 2 所示。每个病毒个体基因以概率  $P_{\text{infect}}$  感染 (替换) 宿主个体对应的每个基因, 图中 “\*” 表示通配符。

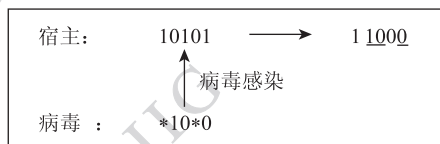


图 2 病毒感染操作

Fig. 2 Operation of virus infection

2) 复制 (copy): 随机选择一个宿主个体, 将宿主个体的每个基因以概率  $P_{\text{copy}}$  替换病毒个体中的相应的基因, 这样就产生新的更多有效字符的病毒个体, 如图 3 所示。初始病毒个体也是通过对一个宿

主个体以概率  $P_{\text{copy}}$  复制到一个没有感染能力 (infectless) 的病毒个体上产生的。

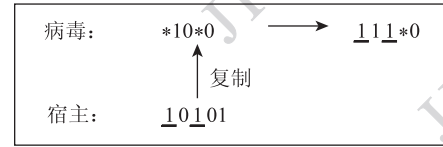


图 3 病毒复制操作

Fig. 3 Operation of virus copy

3) 删减 (cut): 删减操作是通过病毒个体的每个基因以概率  $P_{\text{cut}}$  使用通配符 “\*” 替换, 如图 4 所示。病毒删减的功能在于减少有效基因个数 (特征数) 来降低其进化计算的能力。

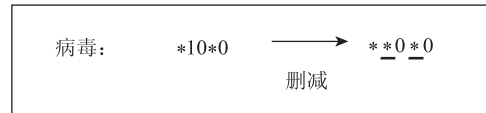


图 4 病毒删减操作

Fig. 4 Operation of virus cut

一个病毒个体可以用来感染许多宿主个体, 第  $i$  个病毒个体适应度函数  $fit_{\text{virus}_i}$  可以通过其所感染宿主个体前后适应度的变化来表示, 即

$$fit_{\text{virus}_i} = fit_{\text{host}_i'} - fit_{\text{host}_i} \quad (1)$$

式中,  $fit_{\text{host}_i}$ ,  $fit_{\text{host}_i'}$  分别为病毒  $i$  感染的宿主个体前后的适应度函数值。本文定义的宿主个体适应度函数为基于该宿主个体 (特征值) 的分类精确值 ACC, 具体为

$$fit_{\text{host}} = \text{ACC} \quad (2)$$

根据病毒进化理论, 每个病毒都有自己的生命存在的时间, 这里用生命力 ( $life$ ) 来表示, 第  $t+1$  代第  $i$  个病毒个体的生命力定义为

$$life_{i,t+1} = \gamma \times life_{i,t} - fit_{\text{virus}_i} \quad (3)$$

式中,  $\gamma$  为生命力衰减率。如果  $life_{i,t+1} < 0$ , 表明该病毒个体已经对进化过程没有效果了, 需要重新生成新的病毒。

## 2 病毒进化的离散 DE 特征选择算法

### 2.1 颈部淋巴结超声图像特征提取

目前在临床和研究上已经发现很多关于淋巴结区域的特征, 首先结合临床和当前的研究给出淋巴结超声图像的量化特征 (B 型超声图像), 为了分析和讨论方便在这里用  $Fi$  来表示第  $i$  个特征, 具体定

义如下:

1)外形特征 使用致密度  $F1$ ,实占率  $F2$ ,凸包深度  $F3$ ,傅里叶形状因子  $F4$ ,4个矩形状因子特征  $F5—F8$ ,基于归一化径向长度的3个特征  $F9—F11$ 来描述淋巴结超声图像中淋巴结区域的外形特征<sup>[15]</sup>。

2)边界特征 采用锐度  $F12$ 和边缘亮度变化比  $F13$ 和边界平均最大下降梯度  $F14$ 来描述颈部淋巴结的边界特征<sup>[15]</sup>。

3)纹理特征 目前描述淋巴结超声图像纹理的主要有灰度共生矩阵、Laws能量模板、灰度游程长度和小波纹理等。它们分别为

(1)灰度共生矩阵 基于灰度共生矩阵<sup>[16]</sup>的二阶统计的纹理特征主要有以下14种:角二阶矩  $F16$ 、对比度  $F17$ 、相关  $F18$ 、熵  $F19$ 、方差  $F20$ 、均值和  $F21$ 、逆差矩  $F22$ 、方差和  $F23$ 、差的方差  $F24$ 、和熵  $F25$ 、差熵  $F26$ 、聚类阴影  $F27$ 、显著聚类  $F28$ 、最大概率  $F29$ 。

(2)Laws能量模板 Laws能量纹理模板<sup>[17]</sup>主要通过 Laws2维纹理模板和图像的卷积产生。而卷积出来的也是与原图像大小相等的纹理图像,为了便于计算,这里分别取它们在颈部淋巴结区域内的均值或者方差来代表其纹理值。这里取10个主要的特征值,它们是:L5E5模板卷积后的均值  $F30$ ,L5S5模板卷积后的均值  $F31$ ,E5L5模板卷积后的均值  $F32$ ,S5L5模板卷积后的均值  $F33$ ,E5E5模板卷积后的均值  $F34$ ,L5E5模板卷积后的方差  $F35$ ,E5L5模板卷积后的方差  $F36$ ,S5L5模板卷积后的方差  $F37$ ,E5E5模板卷积后的方差  $F38$ ,L5S5模板卷积后的方差  $F39$ 。

(3)灰度游程长度 灰度游程长度有5个特征<sup>[18]</sup>:短游程优势  $F40$ ;长游程优势  $F41$ ;灰度不均匀性度量  $F42$ ;游程长度不均性度量  $F43$ ;游程比率  $F44$ 。

(4)小波纹理特征 图像通过在水平方向的低通滤波和高通滤波可以被分解为低频和高频两部分,再在垂直方向进行低通和高通滤波可以得到低低频、低高频、高低频、高高频4个子频部分。而在这4个子频部分中,低低频保留了原始图像最多的原始信息,因此在这里选用低低频,这些滤波器的系数设置详见文献[19]。这里使用低低频的均值、方差和10个Laws能量模板卷积后各自均值和方差作为小波纹理特征:低低频均值  $F45$ 、低低频方差

$F46$ 、低低频和Laws能量模板卷积后得到的各自的均值和方差  $F47—F56$ 。

## 2.2 算法实现

基于病毒协同进化的离散DE特征选择算法是直接针对解空间进行编码的。在这里使用每个特征的二值(0和1)来进行编码,其中0表示不选该特征,1表示选择该特征。这56个特征按照  $F1—F56$ 依次排列构成宿主个体的编码  $X$ ,如图5所示。

|    |   |   |   |   |     |     |     |     |
|----|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|
| 位置 | 0 | 1 | 2 | 3 | ... | ... | ... | $n$ |
| 特征 | 1 | 0 | 1 | 0 | ... | ... | ... | 0   |

图5 特征宿主个体编码( $n=56$ )

Fig.5 The structure of features in our method

图5中每个位置都代表了一个特征,这里称做基因。初始宿主个体的产生是按照图5的编码方式随机在各个位置生成0或者1而产生的,宿主个体第  $i$  个基因值随机产生的公式为

$$x_i = \begin{cases} 0 & rand() < 0.5 \\ 1 & rand() \geq 0.5 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $rand()$ 为 $[0,1]$ 区间独立同分布的随机数。初始病毒宿主个体是随机选择一个宿主个体执行病毒复制操作复制到与宿主个体长度相同的没有感染能力的(由通配符组成)的病毒个体上产生的。

基于病毒协同进化的离散DE特征选择算法中的变异操作为对当前代最优适应度值的个体  $X_{best}$ 进行病毒感染操作。交叉操作为

$$U_{i,t} = \begin{cases} CR(V_{i,t}, X_{i,t}) & r > P_c \\ V_{i,t} & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中, $r$ 为 $[0,1]$ 区间的随机数, $P_c$ 为交叉操作概率, $V_{i,t}$ 为变异后宿主个体, $X_{i,t}$ 为当前代宿主个体, $CR$ 表示交叉操作。选择操作为

$$X_{i,(t+1)} = \begin{cases} U_{i,t} & f(U_{i,t}) < f(X_{i,t}) \\ X_{i,t} & f(U_{i,t}) \geq f(X_{i,t}) \end{cases} \quad (6)$$

式中, $f()$ 为适应度函数。

基于病毒协同进化的离散DE特征选择算法(VEDE)如下:

1)初始化各个参数,按照式(4)产生初始化宿主个体种群,通过病毒复制操作产生初始病毒个体;

2)按照式(2)计算当前宿主个体种群中每一个个体的适应度函数;



3) 变异操作, 使用病毒个体对前  $t$  代最优宿主个体  $X_{best,t}$  执行病毒感染操作产生  $V_{i,t}$ ;

4) 交叉操作, 按照式(5)产生交叉结果  $U_{i,t}$ ;

5) 选择操作, 按照式(6)进行选择操作, 产生下一代宿主个体  $X_{i,t+1}$ , 并将该宿主个体加入宿主个体种群中;

6) 病毒进化, 按照式(1)计算病毒的适应度函数值  $fitvirus_{i,t}$ , 如果  $fitvirus_{i,t} < 0$ , 则从当前宿主个体随机选择一个基因执行病毒复制操作, 否则对病毒个体随机选择一个基因执行病毒删减操作, 并按照式(3)计算该病毒的生命力  $life_{i,t+1}$ , 如果  $life_{i,t+1} < 0$ , 则从当前宿主个体种群中随机选择一个宿主个体执行病毒复制操作产生新的病毒个体;

7) 如果达到最大迭代次数, 则返回全局最优解, 否则返回步骤 2) 继续运行。

### 3 实验设计及结果分析

本文算法均在 Matlab7.0 环境下实现。硬件平台为个人计算机 (Intel 酷睿 i3 2100 处理器/3.1 GHz CPU/内存为 4 G)。为了与前人工作进行比较, 采取留五交叉验证的分类精度。与最常用的离散粒子群算法和遗传算法以及 BDE 算法进行比较。

本文算法参数如下: 初始宿主个体数为 100, 病毒感染概率  $P_{infect} = 0.05$ , 病毒复制概率  $P_{copy} = 0.3$ , 病毒删减概率  $P_{cut} = 0.15$ , 交叉概率  $P_c = 0.3$ , 病毒生命衰减率  $\gamma = 0.8$ , 最大迭代次数  $t_{max} = 100$ 。

离散粒子群、遗传算法 (GA) 和 BDE 算法适应度函数的选取都采用本文所使用的分类精度。离散粒子群的参数设置为初始种群大小为 100, 最大速度为 5, 迭代次数为 100, 惯性权重为 0.8, 社会学习系数

和认知系数均为 2。遗传算法种群为 100, 迭代次数为 100, 交叉概率为 0.8, 变异概率为 0.05。BinDE 选择的差分进化模式为 DE/any/bin, 初始宿主个体为 100, 尺度因子  $F = 0.1$ , 交叉概率  $P_c = 0.2$ , 迭代次数为 100。

多分类 SVM 使用 Libsvm 工具箱中的一对一的方法进行实现<sup>[20]</sup>。

#### 3.1 数据集

实验数据为通过临床医用 ATL HDI-5000 Sono CT 型超声仪器采集到的颈部淋巴结灰阶多普勒超声图像。这些医学超声图像按照疾病分为颈部淋巴结肿瘤 (S1)、颈部坏死性淋巴结炎 (S2) 和颈部淋巴结结核 (S3) 等共计 30 个病例 123 幅颈部淋巴结超声图片。上述 123 幅图像经过图像分割得到了 123 个颈部淋巴结区域的超声图像, 表 1 为数据集构成表。

表 1 淋巴结区域数据统计表

Table 1 The number of Lymph Node ROIs statistics

|         | S1 | S2 | S3 | 总数  |
|---------|----|----|----|-----|
| 淋巴结区域个数 | 41 | 42 | 40 | 123 |

#### 3.2 实验结果及分析

从以下两个方面对上述 4 种算法进行比较, 一方面是每一种算法都运行 10 次, 取得各自适应度函数的最大值以及所对应的特征组合, 如表 2 所示; 另一方面, 比较各个算法的适应度函数变化曲线, 如图 6 所示。从表 2 中可以看出本文算法取得了最好的分类精度, 并选出的特征最少为 8 个。接下来的性能依次为离散 PSO, BDE 和 GA。而所提取的这些特征与临床诊断和相关文献得出的结论也基本相同<sup>[5,18]</sup>, 说明了所提算法的有效性。

表 2 各种算法最大分类精度及其特征组合

Table 2 The results of feature selection by different methods

|        | 本文算法                                   | BDE                                        | 离散粒子群                                           | 遗传算法                                             |
|--------|----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 分类精度/% | 98.52                                  | 87.36                                      | 94.26                                           | 85.5                                             |
| 特征组合   | $F1, F9, F12, F14, F15, F17, F32, F57$ | $F2, F8, F9, F20, F25, F35, F38, F55, F57$ | $F1, F4, F6, F10, F17, F25, F28, F33, F42, F52$ | $F6, F9, F11, F14, F22, F24, F27, F37, F40, F57$ |

表3为各种算法平均收敛时间对比,从表3和图6的比较中可以发现本文算法与其他几个算法相比,收敛速度更快,分类精度更高,这是因为在本文算法中,首先只对当前代最优的宿主个体进行变异从而加速了收敛速度,其次病毒协同进化的病毒感染以及病毒进化和更新等操作使得本文算法不易陷入局部极小值,提高了分类精确度。

表3 各种算法平均收敛时间  
Table 3 The average convergence  
time of different methods

|      | 本文算法 | BDE  | 离散 PSO | GA   |
|------|------|------|--------|------|
| 时间/s | 3.23 | 6.84 | 6.37   | 7.35 |

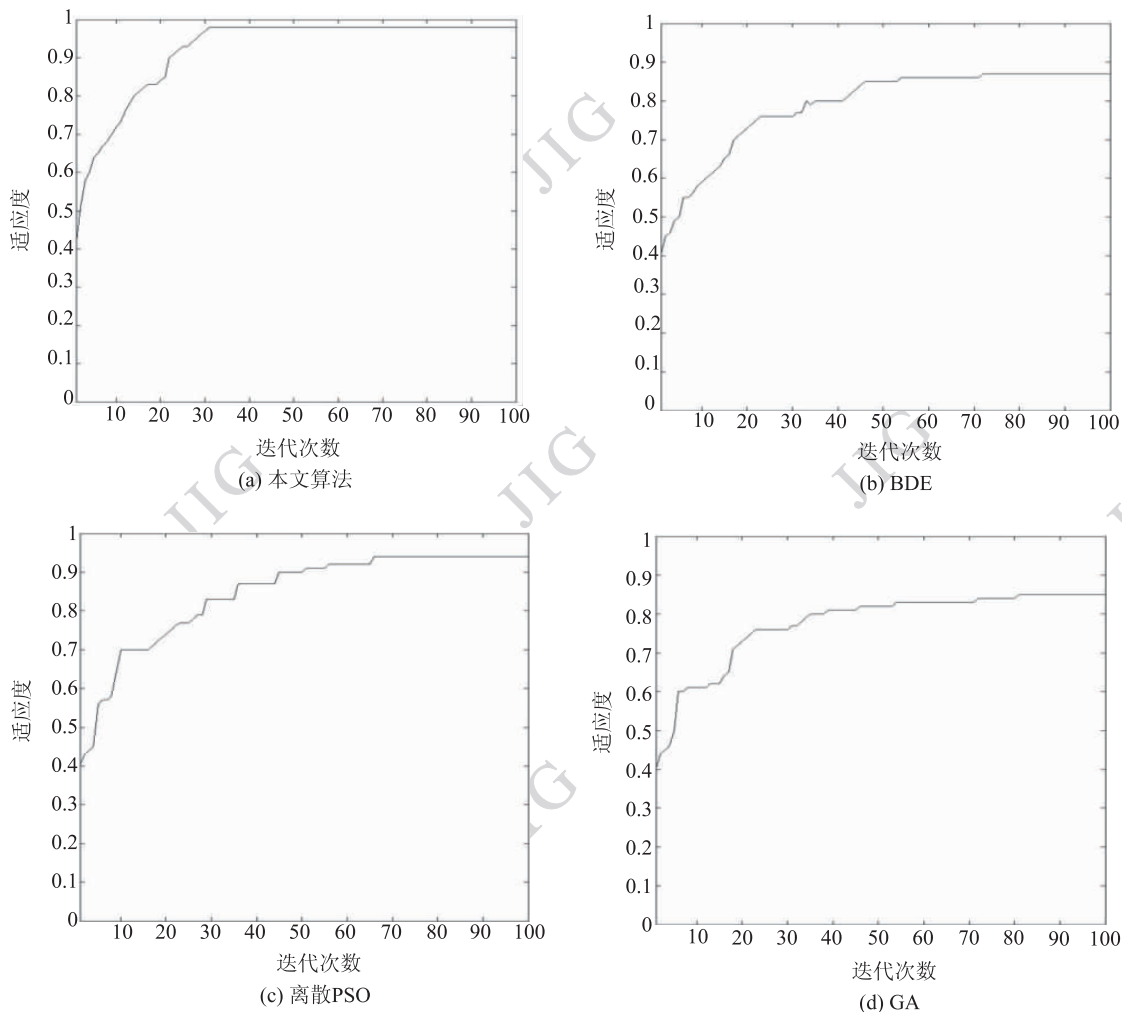


图6 各种算法的最佳适应度变化曲线

Fig. 6 Variational curves of the best fitness values of different algorithms

## 4 结论

本文重点对颈部淋巴结超声图像淋巴结区域的特征选择进行了研究。针对目前特征选择算法收敛速度慢且易陷入局部极小值等问题,使用改进的离散差分进化算法对颈部淋巴结超声图像的淋巴结区域进行特征选择,并给出了差分进化算法的基本原理以及离散差分算法的研究现状。在

分析了目前差分进化算法不足的基础上提出了病毒协同进化的离散 DE 特征选择算法。该算法首先利用病毒协同进化机制增加了宿主个体的多样性使得算法能够获得更好的最优解,其次在变异操作只针对当前最优个体进行变异加速了算法的寻优速度。最后在量化提取的临床颈部淋巴结超声图像淋巴结区域的特征上进行了实验,实验结果表明本文算法收敛速度快并能获得更好的分类精度。

## 参考文献(References)

- [1] Mohamed S S, Salama M M A, Kamel M, et al. Prostate cancer multi-feature analysis using trans-rectal ultrasound images [J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2005, (50): N175-N185.
- [2] Pereira W C A, Alvarenga A V, Infantesi A F C, et al. A non-linear morph metric feature selection approach for breast tumor contour [J]. *Computers in Biology and Medicine*, 2010, (40): 912-918.
- [3] Siebers S, Zenk J, Bozzato A, et al. Computer aided diagnosis of parotid gland lesions using ultrasonic multi-feature tissue characterization [J]. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 2010, 36(9): 1525-1534.
- [4] Wu, Lee W, Chen Y, et al. A GA-based multiresolution feature selection for ultrasonic liver tissue characterization [C]// *Proceedings of the Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control*. Taiwan, China: National Kaohsiung University Applied Sciences, 2009: 1542-1545.
- [5] Chang C, Lai C, Chen S. Applying the partial swarm optimization and boltzmann function for feature selection and classification of lymph node in ultrasound images [C]// *Proceedings of the Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. Taiwan, China: National Kaohsiung University of Applied Sciences, 2008: 55-60.
- [6] Storn R, Price K. Differential evolution: a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces [J]. *Global Optimization*, 1997, (11): 341-359.
- [7] Liu M G. Differential evolution algorithms and modification [J]. *Systems Engineering*, 2005, 23(2): 108-111. [刘明广. 差异演化算法及其改进[J]. *系统工程*, 2005, 23(2): 108-111.]
- [8] Pampara G, Engelbrecht A P, Franken N. Binary differential evolution [C]// *Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Vancouver, Canada: IEEE, 2006: 1873-1879.
- [9] Engelbrecht A. P., Pampara G. Binary differential evolution strategies [C]// *Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Singapore: National University of Singapore, 2007: 1942-1947.
- [10] Pan Q K, Tasgetiren M F, Liang Y C. A discrete differential evolution algorithm for the permutation flowshop scheduling problem [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2008, (55): 795-816.
- [11] Gong T, Tuson A L. Differential evolution for binary encoding [J]. *Soft Computing in Industrial Applications*, 2007, (ASC 39): 251-262.
- [12] Kubota N, Shimojima K, Fukuda T. The role of virus infection in virus-evolutionary genetic algorithm [C]// *Proceeding of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. Nagoya: Nagoya University, 1996: 182-187.
- [13] Hu S C, Xu X F, Li X. Y. A virus coevolution genetic algorithm for project optimization scheduling [J]. *Journal of Software*, 2004, 15(1): 49-57. [胡仕成, 徐晓飞, 李向阳. 项目优化调度的病毒协同进化遗传算法[J]. *软件学报*, 2004, 15(1): 49-57.]
- [14] Ji C M, Xie W, Yu S, et al. Application of virus particle swarm optimization algorithm in economic operation of hydropower station [C]// *Proceedings of Sixth International Conference on Natural Computation*. Yantai, China: Yantai University, 2010: 2595-2599.
- [15] Zhang J H, Wang Y Y, Dong Y, et al. Evaluation studies of ultrasonic image features extraction for cervical lymph nodes [J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2008, 25(1): 172-181. [张俊华, 汪源源, 董怡, 等. 颈部淋巴结超声图像特征提取的评价[J]. *生物医学工程杂志*, 2008, 25(1): 172-181.]
- [16] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1973, 3(6): 610-621.
- [17] Laws K I. Textured image segmentation [D]. California, USA: University of Southern California, 1980.
- [18] Galloway M M. Texture Analysis Using Gray Level Run Lengths [J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1975, 4(2): 172-179.
- [19] Yu S N. A recognition system for different pathological tissues in the thyroid ultrasound image [D]. Chung Cheng, Taiwan, China: National Chung Cheng University, 2006
- [20] Chih-Chung Chang, Chih-Jen Lin. LIBSVM: a library for support vector machines [CP/OL]. (2011-11-05) [2012-02-12]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.