

基于碟形宇宙算法的电路板红外图像增强研究

孙云娟¹, 陈洪涛²

¹河南师范大学新联学院, 河南 新乡 453200;

²黄淮学院机械与能源工程学院, 河南 驻马店 463000

摘要 采用碟形宇宙算法提升电路板红外图像的增强效果。建立碟形宇宙拓扑结构以及宇宙间信息流过程, 利用多宇宙之间的信息流移民策略, 使各个宇宙链路之间进行双向移民。通过自适应非完全 Beta 函数实现对电路板红外图像不同灰度段的增强, 利用电路板红外图像增强质量评价函数作为碟形宇宙算法的适应度函数, 并给出了算法流程。仿真结果显示碟形宇宙算法对电路板红外图像增强结果较好, 增强后的图像清晰, 其检测性能分析表明图像信息二维熵、对比度测量指标较优。

关键词 成像系统; 碟形宇宙算法; 红外成像; 非完全 Beta 函数; 图像增强

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP54.071102

Circuit Board Infrared Image Enhancement Based on Butterfly Universe Algorithm

Sun Yunjuan¹, Chen Hongtao²

¹Xinlian College, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453200, China;

²College of Mechanical and Energy Engineering, Huanghuai University, Zhumadian, Henan 463000, China

Abstract In order to improve the quality of circuit board infrared image enhancement, the butterfly universe algorithm is proposed. The butterfly universe topology structure and the universe information flow process are built, the multi universe information flow migration strategy is made by two-way migration between various cosmic links. The function to evaluate the circuit board infrared image enhancement effect is taken as the fitness function of the butterfly universe algorithm by the adaptive incomplete Beta function. Finally, the algorithm process is provided. Simulation results show that the butterfly universe algorithm has good circuit board infrared image enhancement effect, the enhanced image is clearer, and the two-dimensional entropy and contrast measurement index of image information are better.

Key words imaging systems; butterfly universe algorithm; infrared imaging; incomplete Beta function; image enhancement

OCIS codes 110.4155; 110.2970; 120.1880

1 引言

随着各种元器件的集成度越来越高, 接触式故障检测方法效率比较低, 红外成像故障诊断已成为最重要的方法^[1-2]。但电路板红外成像的动态范围小、对比度差、图像模糊, 严重影响电路板红外成像的质量, 因此需要对模糊图像进行增强。

目前的检测方法中, 直方图变换(HT)方法可增强电路板红外成像, 编程简单^[3], 但增强过程中需要提高背景的对比度, 导致细节增强效果不明显; Contourlet 变换(CT)方法能够在电路板红外成像增强过程中通过 Contourlet 系数的衰减抑制噪声^[4], 但是在抑制噪声的过程中会产生伪吉布斯现象, 导致图像失真; 多尺度 Retinex(MR)方法可提高电路板红外图像的对比度^[5], 但是算法运算量大; 小波变换(WT)方法对电路

收稿日期: 2017-01-17; 收到修改稿日期: 2017-03-01

基金项目: 河南省教育厅课题(2016-JSJYYB-182)、河南师范大学新联学院转型专项课题(2015XL-YB-1504)

作者简介: 孙云娟(1981—), 女, 硕士, 讲师, 主要从事物理电子学方面的研究。E-mail: sy15625@qq.com

板红外图像进行多尺度梯度计算,可使对比度增强,但是由于多尺度的方向性有限,细节信息的增强明显不足^[6];同态滤波(HF)方法对于对比度较好的电路板红外图像增强效果较好^[7],但是由于同态滤波会使图像灰度值降低,因此对比度更差。

为了提升电路板红外成像增强效果,本文采用碟形宇宙(BU)算法进行红外成像增强。为了避免算法对芯片的处理速度和处理性能要求较高,在实际的工程应用中,要求增强系统能够具有实时性,因此采用擅长复杂运算的高速数字信号处理器(DSP)来完成。TI公司的TMS320C6000系列DSP,运算速度快,最高时钟频率达到1GHz以上,可以在一个时钟周期内完成多个操作,实现并行处理,在处理复杂算法方面很有优势,能满足基本的电路板红外成像动态范围和对比度要求,通过建立碟形宇宙拓扑结构以及宇宙间信息流过程对电路板红外成像增强判决函数进行数据寻优。实验仿真结果显示,碟形宇宙算法对电路板红外成像增强结果清晰,检测性能较优。

2 碟形宇宙算法模型

2.1 碟形宇宙拓扑结构

各个宇宙之间的拓扑结构直接影响算法的性能,宇宙之间的交流通过移民操作实现^[8-9],移民操作使得各宇宙之间相互联系、相互纠缠。当一个宇宙内的信息发生变化时,通过信息移民实现信息共享,使其他宇宙的信息发生变化,充分体现宇宙之间性能的并行性。碟形宇宙空间拓扑结构如图1所示。

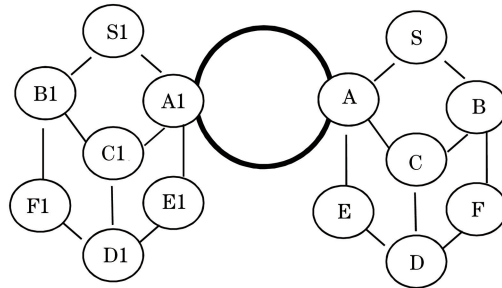


图1 碟形宇宙拓扑结构

Fig. 1 Topology structure of butterfly universe

图1中,A、A1为主宇宙个体,B、C、D、E、F、S、B1、C1、D1、E1、F1、S1为从宇宙个体。从宇宙之间信息共享于各个宇宙中,并且从宇宙与距离自己最近的宇宙之间信息共享概率远大于离自己较远的宇宙。宇宙之间连线可组成宇宙链路,比如链路 M_{11} 为 $A1 \rightarrow C1 \rightarrow B1 \rightarrow S1 \rightarrow A1$,链路 M_{12} 为 $A1 \rightarrow C1 \rightarrow B1 \rightarrow F1 \rightarrow D1 \rightarrow E1 \rightarrow A1$,链路 M_{13} 为 $A1 \rightarrow A \rightarrow A1$,这是3个不同的宇宙链路。

设各个宇宙链路之间的容量为2,若源宇宙S发送2 bit信息 x_1 、 x_2 到目的宇宙E和F,即 ξ_1 和 ξ_2 上,如图2所示,则源宇宙到两个目的宇宙的最大可行流为

$$\max[\text{flow}(\xi_1)] = \max[\text{flow}(\xi_2)] = 2. \quad (1)$$

因此,源宇宙到目的宇宙集合 (ξ_1, ξ_2) 的最大可行流为

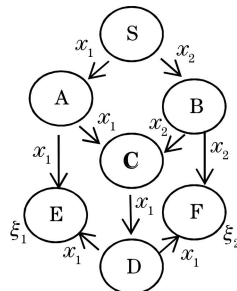


图2 碟形宇宙信息交流图

Fig. 2 Diagram of information exchange in butterfly universe

$$\max [\text{flow}(\xi_1, \xi_2)] = \min_{\xi \in (\xi_1, \xi_2)} [\text{flow}(\xi)] = 2. \quad (2)$$

图 2 中各个宇宙具有对信息进行转发和保存的能力,比如宇宙 C 同时收到比特信息 x_1 和 x_2 时,可以转发其中任意比特信息,同时,也可对接收的任意比特信息进行保存。

2.2 宇宙间信息流

在碟形宇宙结构中,为了加快信息交流,当进入宇宙的信息流小于流出宇宙的信息流时,宇宙链路上各个宇宙可作为源流出,增加流出量;当进入宇宙信息流大于流出宇宙信息流时,宇宙链路上各个宇宙可作为汇进行滞流,使得流出量减少。调节可行流时必须保持出入流平衡^[10],即对于某个宇宙链路中某个宇宙 v_i ,流量配平公式为

$$\begin{cases} f(v_k^+, v_i^-) + f(v_i^+, v_i^-) = f(v_i^+, v_j^-) \\ f(v_k^+, v_i^-) + f(v_i^+, v_j^-) = f(v_i^+, v_i^-) \end{cases}, \quad (3)$$

式中 v_k 为宇宙链路起止点, $k=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n, n$ 为宇宙总数。

容量配平公式为

$$\hat{f}(v_k^+, v_i^-) + f\hat{f}(v_i^+, v_i^-) = f\hat{f}(v_i^+, v_j^-), \quad (4)$$

式中 $k=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$ 。

宇宙的入流容量等于出流容量,称为出入容量平衡;反之,称为出入容量不平衡。

通过多宇宙之间的信息流移民策略,各个宇宙链路之间可进行双向移民,即链路 M_{11}, M_{12}, M_{13} 将其最优的解移至链路 M_1 , 替换 M_1 中较差的解, M_1 回馈给 M_{11}, M_{12}, M_{13} 较优解来替换它们本身链路中较差的解。例如当 M_{11} 获得 M_1 回馈的较优解后,如果在自身链路中有比较优解差的解,则较优解替换较差解。

3 电路板红外图像增强过程

3.1 自适应非完全 Beta 函数实现电路板红外图像增强

利用非完全 Beta 函数能完全覆盖图像各种增强类型的特性从而实现电路板红外图像增强^[11]。非完全 Beta 函数归一化为

$$F(\alpha, \beta) = B^{-1}(\alpha, \beta) \int_0^u t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt, \quad (5)$$

式中 $B(\alpha, \beta)$ 为 Beta 函数,可表示为

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt, \quad (6)$$

式中 $\alpha \in (0, 10), \beta \in (0, 10), \alpha, \beta$ 为不同的组合值,可增强各种类型的模糊图像。 $t \in (0, 1)$ 为参变量。不同的组合值曲线如图 3 所示。

不同的 α, β 组合值得到不同的变换曲线,当 $\alpha < \beta$ 时,电路板红外图像较暗区域的变换曲线拉伸;当 $\alpha = \beta$ 时,变换曲线是对称的,电路板红外图像中间区域的变换曲线拉伸;当 $\alpha > \beta$ 时,电路板红外图像较亮区域的变换曲线拉伸。要实现电路板红外图像的自适应增强,需要对参数 α, β 进行自适应寻优^[12-13]。

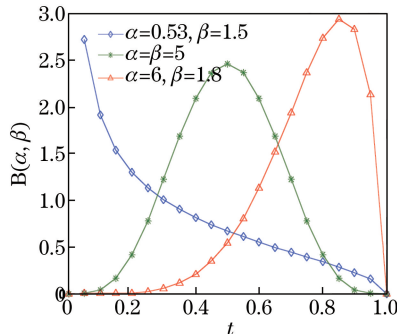


图 3 不同 α, β 组合值的 Beta 函数曲线

Fig. 3 Beta function with different combinations of α and β

假设图像 $I = \{f(x, y)\}$, 大小为 $M \times N$, 具有 L 个灰度级, $h(x, y) \in \{L_{\min}, L_{\min} + 1, L_{\min} + 2, \dots, L_{\max}\}$, L_{\max} 和 L_{\min} 分别为图像灰度级的最大值和最小值。 L_{\min} 与 L_{\max} 满足 $L_{\max} - L_{\min} = L - 1$ 。将 $h(x, y)$ 进行归一化处理为

$$h'(x, y) = 255 \times \frac{h(x, y) - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \quad (7)$$

利用碟形宇宙算法的全局优化搜索能力增强电路板红外图像的不同灰度段, 确定最佳变换参数 α, β 值, 可得到最佳增强效果, 结合宇宙之间的信息可行流以及各个位自身流量进、出差距, 适应度函数选择为

$$f_{\text{Fitness}} = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i^2(x, y) - \left[\frac{1}{m} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i(x, y) \right]^2 \right\} \cdot [\text{flow}(M_i, M_j) \cdot f(M_i^+, M_i^-)] \quad (8)$$

式中 $i(x, y)$ 为像素点 (x, y) 的灰度值, $m = M \times N$ 为图像像素总数, $\text{flow}(M_i, M_j)$ 为宇宙中个体 i 与 j 之间的信息可行流, $f(M_i^+, M_i^-)$ 为宇宙中个体 i 自身流量进、出差距, 其值越大越好, 代表宇宙自身演化较快。

3.2 算法流程

红外图像增强过程的算法流程如下:

- 1) 输入电路板红外待增强图像;
- 2) 根据图像灰度判决规则, 选取自适应增强模型;
- 3) 各个宇宙间的信息流更新, 获得宇宙链路的解;
- 4) 计算获得 α, β 组合值, 按(8)式判断适应度, 若连续新解都没有被接受则终止寻优, 进行步骤5); 否则进行步骤3);
- 5) 将增强后的图像进行反归一化处理, 输出电路板待增强红外图像。

4 仿 真

计算机配置为 CPU AMD FX-6300 Six-Core、内存 8 GB、Intel H61 主板、集成显卡, 由 Matlab 2014 实现仿真。宇宙个体设置为 15 个, 其中主宇宙个体 6 个, 从宇宙个体 9 个。硬件系统的 DSP 配置为: 使用 TI 公司 TMS320C6713 芯片, 片上 256×32 kbit RAM, 外扩 8×16 Mbit SDRAM, 16 Mbit Flash ROM; 现场可编程门阵列(FPGA)配置为: Altera Cyclone II 芯片 EP2C5, 视频 AD/DA 芯片(SAA7114, SAA7121), 外扩 2 片 256×16 kbit 的高速 SRAM; 红外探测成像器硬件参数为: 波长范围 $8 \sim 14 \mu\text{m}$, 测量分辨率 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{F}$, 图像分辨率(宽 \times 高) $80 \text{ pixel} \times 60 \text{ pixel}$, 热成像灵敏度 150 mK, 视场角(高 \times 宽) $50^\circ \times 38.6^\circ$, 帧频 9 Hz, 距离系数比 24:1。采用不同的算法进行对比实验, 包括直方图变换方法、Contourlet 变换方法、多尺度 Retinex 方法、小波变换方法、同态滤波方法和碟形宇宙算法。

4.1 检测视觉效果分析

首先从视觉上进行分析, 电路板红外图像待增强灰度原图如图 4(a)、图 5(a) 所示, 整体模糊, 无法辨识

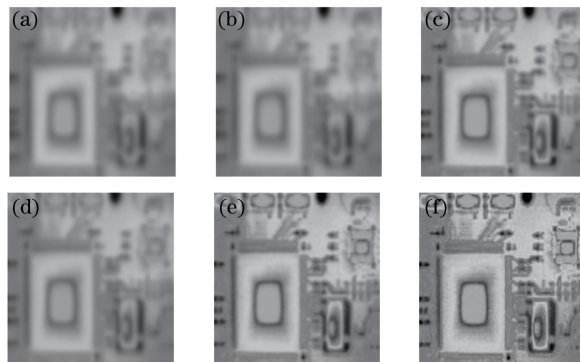


图 4 各种算法的增强效果对比(实验 1)。(a)待增强图像;(b) HT;(c) CT;(d) MR;(e) HF;(f) BU

Fig. 4 Comparison of enhancement effects with various algorithms (experiment No. 1).

(a) Original image; (b) HT; (c) CT; (d) MR; (e) HF; (f) BU

出电路板中的元器件。图 4(b)、图 5(b)为 HT 方法增强效果,图 4(c)、图 5(c)为 CT 方法增强效果,图 4(d)、图 5(d)为 MR 方法增强效果,图 4(e)、图 5(e)为 HF 方法增强效果,图 4(f)、图 5(f)为 BU 算法增强效果。

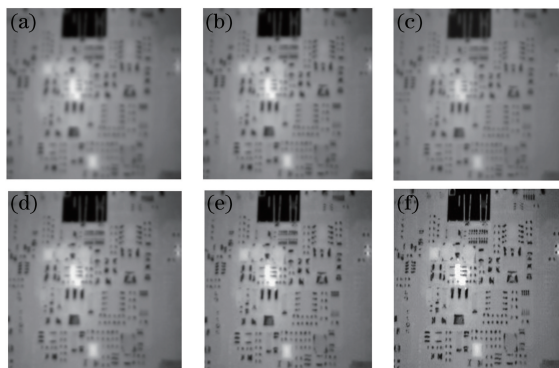


图 5 各种算法的增强效果对比图(实验 2)。(a)待增强图像;(b) HT;(c) CT;(d) MR;(e) HF;(f) BU

Fig. 5 Comparison of enhancement effects with various algorithms (experiment No. 2).

(a) Original image; (b) HT; (c) CT; (d) MR; (e) HF; (f) BU

从图 4 和图 5 的检测效果可以看出,BU 算法对电路板红外图像的增强效果图细节比较清晰,能够辨识出电路板中的元器件,说明 BU 算法在不同的灰度段条件下需选择不同的非完全 Beta 函数进行自适应增强,能够较好地适应图像的灰度特征,且能综合考虑图像的灰度变化区域以及偏暗和偏亮部分的局部细节信息;HT 方法的细节增强效果不明显,依旧模糊;CT 方法使图像有一定增强效果,但效果并不明显;MR 方法因输出采用一个常数增益,使图像出现边缘晕环现象;HF 方法增强效果在图像暗处的细节不明显,只能找到大致的位置,无法得到精确位置。

4.2 检测性能分析

4.2.1 图像信息二维熵

图像信息二维熵(TDEII)选择图像的邻域灰度均值作为灰度分布的空间特征量,与图像的像素灰度组成特征二元组,记为 (p, q) ,其中 p 表示像素的灰度值($0 \leq p \leq 255$), q 表示邻域灰度均值($0 \leq q \leq 255$)。某像素位置上的灰度值与其周围像素灰度分布的综合特征为

$$P_{pq} = f(p, q) / D^2, \quad (9)$$

式中 $f(p, q)$ 为特征二元组 (p, q) 出现的频数, D 为图像的尺度。离散的信息二维熵为

$$H = \sum_{q=0}^{255} \sum_{p=0}^{255} P_{pq} \lg P_{pq}. \quad (10)$$

在图像包含足够信息量的前提下,图像信息二维熵能够突出反映图像中像素位置的灰度信息和像素邻域内灰度分布的综合特征,其值越大增强效果越好。进行 20 次蒙特卡罗实验,图像信息二维熵检测值如图 6 所示。

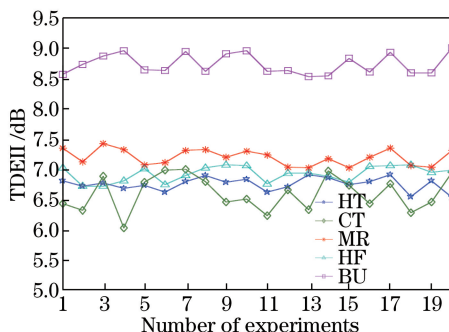


图 6 图像信息二维熵指标检测结果

Fig. 6 Results of TDEII index test

从图 6 检测结果可以看出, BU 算法图像二维熵指标明显高于其他方法, 增强后的图像细节丰富, 能够辨识电路板红外图像中较小的元器件。

4.2.2 对比度测量指标

图像增强对比度测量指标定义为

$$E_{MEE} = \frac{1}{MN} \sum_{a=1}^M \sum_{b=1}^N \frac{I_{\max;a,b}}{I_{\min;a,b} + c} \ln \frac{I_{\max;a,b}}{I_{\min;a,b} + c}, \quad (11)$$

式中图像分割成 $M \times N$ 个 4×4 的子图像块; $I_{\max;a,b}$ 和 $I_{\min;a,b}$ 分别表示子图像块的灰度最大值和最小值; c 是一个很小的常数, 以避免分母为零。当图像增强对比度测量指标值明显增大时, 图像对比度明显提高。为了使检测效果更加精确, 进行 20 次蒙特卡罗实验, 各种增强算法的图像增强对比度测量指标值如图 7 所示。

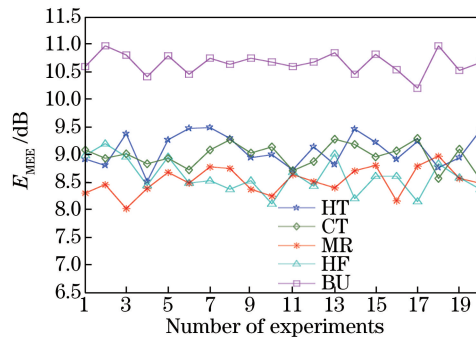


图 7 图像增强对比度测量指标检测结果

Fig. 7 Results of the measurement of enhancement by entropy

从图 7 检测结果可以看出, BU 算法结果明显高于其他方法; 与 HT、CT、MR、HF 方法的结果相比, BU 算法结果分别提高了 10.05%、11.97%、13.29% 和 14.63%。

4.2.3 纯软件和硬件加速测量时间指标

在计算过程中采用纯软件和硬件加速进行测量时间对比。

从图 8 的仿真结果可以看出, 软件和硬件结合加速能够大幅减少处理时间, 比单一采用软件处理时间减少了约 2 s, 因此 BU 算法在硬件的基础上能够减少测量时间。

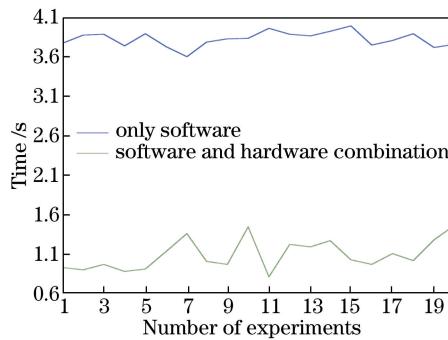


图 8 测量时间对比结果

Fig. 8 Results of measurement time

5 结 论

采用碟形宇宙算法提升电路板红外成像的增强效果。通过各种算法对比发现, 本文算法对电路板红外成像增强结果好, 增强后图像清晰, 各种性能指标较好。该方法为电路板质量检测提供了一种新思路。

参 考 文 献

- [1] Hao Jianxin. The technology about infrared image enhancement of circuit board based on wavelet transform and Retinex [J]. Infrared Technology, 2015, 37(12): 1036-1040.

- 郝建新. 基于小波变换与 Retinex 的电路板红外图像增强技术[J]. 红外技术, 2015, 37(12): 1036-1040.
- [2] Zhang Yajun, Luo Xin. Infrared image enhancement of circuit board based on quantum-behaved particle swarm optimization[J]. Application of Electronic Technique, 2016, 42(8): 138-140.
张亚军, 罗鑫. 基于量子行为粒子优化算法的电路板红外成像增强研究[J]. 电子技术应用, 2016, 42(8): 138-140.
- [3] Florea C, Florea L, Butnaru R, *et al.* Pain intensity estimation by a self-taught selection of histograms of topographical features[J]. Image and Vision Computing, 2016, 56(12): 13-27.
- [4] Zhang Q B, Lu W, Weng J. Joint image splicing detection in DCT and Contourlet transform domain[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2016, 40(10): 449-458.
- [5] Lin H N, Shi Z W. Multi-scale retinex improvement for nighttime image enhancement[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125(24): 7143-7148.
- [6] Wang Hongbin, Wang Shihao, Ji Bingshuo, *et al.* An improved multiple threshold wavelet packet de-noising algorithm and its application[J]. Acta Metrologica Sinica, 2016, 37(2): 205-208.
王洪斌, 王世豪, 籍冰朔, 等. 基于改进多阈值小波包的去噪算法及应用[J]. 计量学报, 2016, 37(2): 205-208.
- [7] Sharma H, Sharma K K, Bhagat O L. Respiratory rate extraction from single-lead ECG using homomorphic filtering[J]. Computers in Biology and Medicine, 2015, 59(1): 80-86.
- [8] Liu Xiaohong, Qu Zhijian, Cao Yanfeng, *et al.* Multi-universe parallel quantum-inspired evolutionary algorithm based on adaptive mechanism[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(2): 369-373.
刘晓红, 曲志坚, 曹雁锋, 等. 基于自适应机制的多宇宙并行量子衍生进化算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(2): 369-373.
- [9] Wu Weimin, Tian Long, Lin Zhiyi. Hybrid big bang-big crunch algorithm based on particle swarm optimization[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2016, 33(4): 12-17.
吴伟民, 田龙, 林志毅. 基于粒子群优化的混合宇宙大爆炸算法[J]. 广东工业大学学报, 2016, 33(4): 12-17.
- [10] Xu Guanglian, Ma Xiaolu. Logistics distribution method based on network with node loop[J]. Science Technology and Industry, 2013, 13(7): 110-115.
徐光联, 马晓录. 基于节点环的物流网格配送方法[J]. 科技和产业, 2013, 13(7): 110-115.
- [11] Zhu Guoqing, Li Qingwu, Lin Shaofei, *et al.* Infrared image enhancement algorithm based human visual system characteristic via non-subsampled contourlet transform domain[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2015, 52(1): 011001.
朱国庆, 李庆武, 林少飞, 等. 基于人眼视觉特性的非下采样轮廓波变换域红外图像增强算法[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(1): 011001.
- [12] Jiang Jianguo, Zhou Jiawei, Zhou Runsheng, *et al.* Image enhancement method based on improved bacteria foraging optimization algorithm[J]. Control and Decision, 2015, 30(3): 461-466.
姜建国, 周佳薇, 周润生, 等. 一种采用改进细菌觅食优化算法的图像增强方法[J]. 控制与决策, 2015, 30(3): 461-466.
- [13] Zhang Jianfei, Du Xiaoxin, Wang Bo. Medical DR image adaptive enhancement based on quantum glowworm and gain beta[J]. Microelectronics & Computer, 2014, 31(5): 135-139.
张剑飞, 杜晓昕, 王波. 基于量子萤火虫和增益 Beta 的医学 DR 图像自适应增强[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(5): 135-139.