

图像增强中优化算法适应度函数设计

施泽波

(南京信息职业技术学院,南京 210046)

摘要: 确定图像非线性增强变换函数中最佳参数的通常做法是利用智能优化算法自动寻优,其中,优化算法中适应度函数的设计对于算法寻优的性能、图像增强的效果具有举足轻重的作用。目前,最常用的适用于图像质量评价的适应度函数仅是包含图像方差单一项,其实评价图像增强效果的重要因素还包括信息熵、紧致度、信噪改变量以及像素差别量等。据此,设计新的应用于图像非线性增强优化算法的适应度函数,充分考虑上述5种影响因素,并且兼顾图像的整体与局部,大的结构和小的细节平衡体现。将新设计的适应度函数用于遗传算法及粒子群算法对图像进行非线性变换增强实验,仿真结果表明,该算法具有较高的自适应性,且增强质量评价明显提高。

关键词: 图像增强; 优化算法; 适应度函数; 信噪改变量; 紧致度

中图分类号: V271.4; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2013)05-0049-04

Fitness Function Design for Optimization Algorithm in Image Enhancement

SHI Zebo

(Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210046, China)

Abstract: For determining the optimum parameters of the transformation function in nonlinear image enhancement processing, intelligent optimization algorithm is usually used for automatic optimization, in which the fitness function has great influence on the optimizing performance and image enhancement effect. Generally, only image energy is included in fitness function for image quality assessment. In fact, there are several other important factors as information entropy, firmness, the change between signal and noise, and pixel difference and so on. Taking full account of the 5 factors above and considering both the global and local image, both the whole structure and small details, we designed a new fitness function. The new fitness function was used in genetic algorithm and particle swarm optimization to enhance the image, and the experiment results showed that the algorithm has fine self-adaptability, and the enhancing quality is improved significantly.

Key words: image enhancement; optimization algorithm; fitness function; change in the amount of noise; firmness

0 引言

图像增强的目的是改善图像的视觉效果,针对给定图像的应用场合,有目的地强调图像的整体或局部特性,扩大图像中不同物体特征之间的差别,满足某些特殊分析的需要。其方法是通过一定手段对原图像附

加一些信息或变换数据,有选择地突出图像中感兴趣的特征或者抑制(掩盖)图像中某些不需要的特征,使图像与视觉响应特性相匹配。实验表明,人类视觉系统的第一处理级是非线性的,故采用非线性增强处理能达到更好的效果。然而,利用非完全 Beta 函数进行的非线性增强需要人为设置参数,使得利用智能优化算法来自动设置最佳参数成为可能。此类优化算法可分为遗传算法、免疫算法、粒子群算法等。

由于利用上述智能优化算法进行图像增强的目的是为了提提高图像清晰度、对比度等质量因素,那么,其中适应度函数的设计、各种操作算子的设置等成为关

收稿日期:2012-04-08

修回日期:2012-06-14

基金项目:国家自然科学基金(40976062)

作者简介:施泽波(1961—),男,江苏靖江人,学士,研高,副教授,研究方向为人工智能、高等职业教育。

键步骤,本文从适应度函数入手,分析其影响因素,设计新的形式并验证其增强效果。

1 图像非线性增强

图像像素灰度变换可表示为

$$I_{xy}^* = f(i_{xy}) \quad (1)$$

式中: I 为输出的增强图像像素点 (x,y) 的灰度值; f 为非线性变换。一般对不同质量的图像采用不同的变换函数,与此对应的变换函数大致有4类^[1],如图1所示。

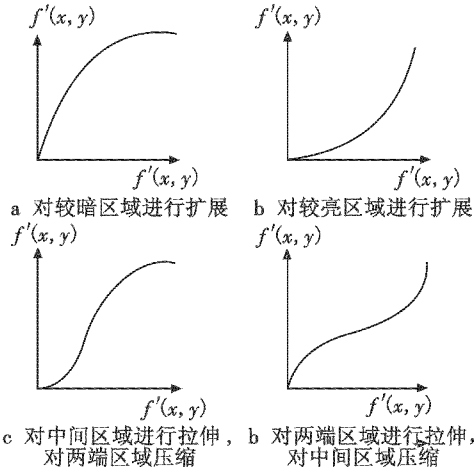


图1 4种典型的灰度变换函数

Fig.1 Four typical gray-scale transformation functions

图中:横坐标为原图像的灰度值,纵坐标为变换后图像的灰度。每一种变换曲线都可以被一组参数所描述。Tubbs提出了一种归一化的非完全Beta函数 $F(u)$ 来自动拟合图像增强的这4类变换曲线^[2]。该归一化的非完全Beta函数 $F(u)$ 定义为

$$F(u) = B^{-1}(\alpha, \beta) \times \int_0^u t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt, \quad 0 < \alpha, \beta < 10 \quad (2)$$

式中, $B(\alpha, \beta)$ 为Beta函数,表示为

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt. \quad (3)$$

通过调整 α, β 的值,就可以得到图1所示的各种类型的非线性变换曲线。传统的确定参数取值的方法是采用穷举法和人工介入法,这两种方法存在3个问题:1)无智能性、自动化性能;2)人工设置参数的准确度无法保证;3)计算量大、效率低。

因而,可以利用智能优化算法的全局优化搜索能力来动态地确定最佳变换参数 α, β 的值,实现图像的自适应增强。

据此,归一化的非完全Beta函数进行灰度转换的

表达式为

$$T(i_{xy}) = f(i_{xy}, \alpha, \beta) = \int_0^{i_{xy}} \frac{t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} dt \quad (4)$$

式中: i_{xy} 为原始图像像素 (x,y) 的灰度值($0 \leq i_{xy} \leq 1$); $0 < T(g) < 1$ 。

2 智能优化算法

2.1 遗传算法

遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的高度并行、随机、自适应搜索算法,主要用于处理最优化问题和机器学习等问题^[3-4]。隐含并行性和对全局信息的有效利用能力是遗传算法的两大显著特点。该算法尤其适用于处理传统搜索方法解决不了的复杂和非线性问题。使用参数编码集而不是参数本身,通过模拟进化,以适者生存的策略搜索函数的解空间,是在点群中而不是在单点进行寻优。其算法流程如图2所示。

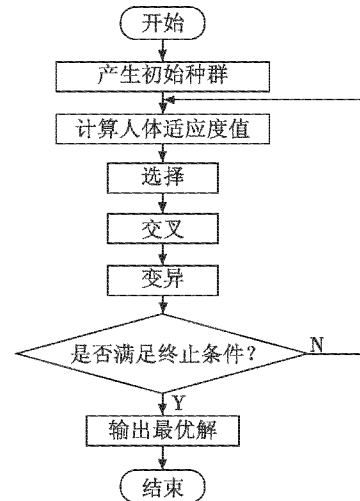


图2 遗传算法流程图

Fig.2 Flow chart of genetic algorithm

2.2 粒子群算法 PSO

粒子群算法^[5]是通过模拟鸟群觅食行为而发展起来的一种基于群体协作的随机搜索算法。该算法初始化为一群随机粒子(随机解),然后通过迭代找到最优解,并没有遗传算法用的交叉(Crossover)以及变异(Mutation),而是粒子在解空间追随最优的粒子进行搜索。这种算法以其实现容易、精度高、收敛快等优点引起了学术界的重视,并且在解决实际问题中展示了其优越性。其算法流程如图3所示。

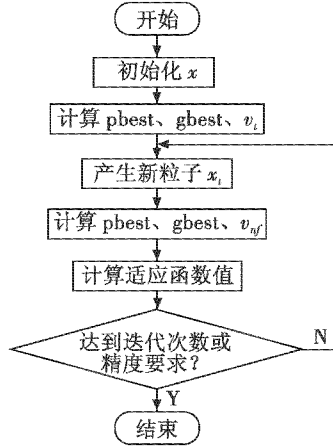


图3 粒子群算法流程图

Fig. 3 PSO flow char

3 适应度函数的改进

各种优化算法中个体寻优进化的动力就是所要构造的适应度函数。适应度函数的选择至关重要,直接影响算法的收敛速度和能否找到最优解。在对一幅图像增强过程中,适应度函数的设计要兼顾图像的整体与局部,大的结构和小的细节平衡体现。因此,要考虑的因素除了最突出的图像的方差 F_{ac} 之外,还有信息熵 E 、像素差别 F_{br} 、信噪改变量 I_{nc} 以及紧致度 C 等性能参数^[6]。含义分别如下。

1) 方差 F_{ac} ^[7]。

对于一个给定的 $M \times N$ 的图像

$$F_{ac} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i_{xy}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i_{xy} \right)^2 \quad (5)$$

式中: i_{xy} 为像素点 (x, y) 的像素值; $n (n = M \times N)$ 为图像像素的总数。如果 F_{ac} 的值是增加的,那么图像中平均像素的变化是增加的,并且图像的全局对比度将相应改善。

2) 信息熵 E 。

$$E = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \lg p_i \quad (6)$$

式中, p_i 为第 i 级灰度出现的概率,当 $p_i = 0$ 时,定义 $p_i \lg p_i = 0$ 。

3) 像素差别 F_{br} 。

F_{br} 为整个图像中每个像素和与之相距两个像素距离的相应像素的差别的总和,一个较好对比度的图像都有一个较大的 F_{br} 值^[8]。

$$F_{br} = \sum_{x=1}^{M-2} \sum_{y=1}^N (i_{x,y} - i_{x+2,y})^2 \quad (7)$$

4) 信噪改变量 I_{nc} 。

I_{nc} 表示图像增强后,灰度级为 h 的像素个数大于给定阈值 t 的数量。其定义为

$$I_{nc} = \sum_{n(h) > t} 1 \quad (8)$$

式中, I_{nc} 为一个辅助测量值,其值越大,表明增强图像的灰度层次损失越少,保留的灰度层次越多,且阈值 t 的设定能够阻止一些重要的细节丢失和噪声的过分增强。

5) 紧致度 C 。

该参数是图像几何学中物体圆形成度最常用的量,即周长 P 的平方与面积 A 的比。

$$\begin{cases} C = \frac{P^2}{A} \\ P = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^{N-1} |i_{x,y} - i_{x,y+1}| + \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^N |i_{x,y} - i_{x+1,y}| \\ A = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i_{x,y} \end{cases} \quad (9)$$

基于上述图像影响因素的新型适应度函数为

$$f_{\text{Fitness}} = E \cdot \text{Inc}[F_{ac} + 2.5C] + F_{br} \quad (10)$$

与文献[9]使用的适应度函数相比,本文加入了像素差别 F_{br} 作为独立分量,因像素差别充分反映了图像的对比如,是图像清晰质量有效的衡量。 f_{Fitness} 值越大,图像增强后的效果越好。而一般常用的适应度函数仅是涉及方差这一项或是考虑上述个别因素,其定义为

$$f_{\text{Fitness}} = F_{ac} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i_{xy}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i_{xy} \right)^2 \quad (11)$$

据此,基于新适应度函数的智能算法应用于图像非线性增强的具体流程如下所述。

1) 图像归一化处理。设 $f(x, y)$ 表示坐标为 (x, y) 的原始图像灰度值, $f'(x, y)$ 为其处理后的灰度值,即

$$g(x, y) = [f(x, y) - L_{\min}] / [L_{\max} - L_{\min}] \quad (12)$$

式中, L_{\max}, L_{\min} 为该图像灰度的最大和最小值。

2) 智能算法优化最佳非线性变换参数。过程参见图2、图3,其中,适应度函数采用本文设计的式(10)。

3) 图像增强。上述得到的非线性变换函数设为 $F(u)$, $0 \leq u \leq 1$, 则变换后的图像为

$$g'(x, y) = F(g(x, y)) \quad (13)$$

式中, $0 \leq g'(x, y) \leq 1$ 。

4 仿真实验及结果

为验证本文算法的有效性,采用 Matlab7.0 对同一幅较暗图像(如图4所示),进行增强仿真实验^[10-11]。分别采用基于一般方差适应度函数以及本文设计的新的适应度函数的遗传算法及粒子群优化算法进行比较,效果评价以处理后图像的直方图为标准。其实验结果如图5、图6所示。

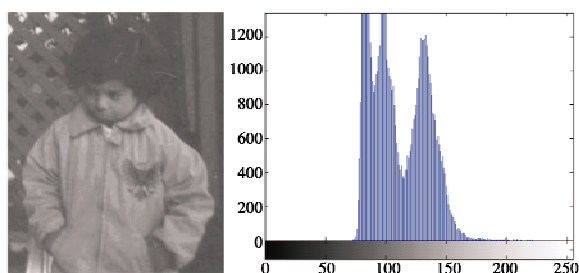


图 4 实验原图像及其灰度直方图
Fig. 4 Original image and its gray histogram

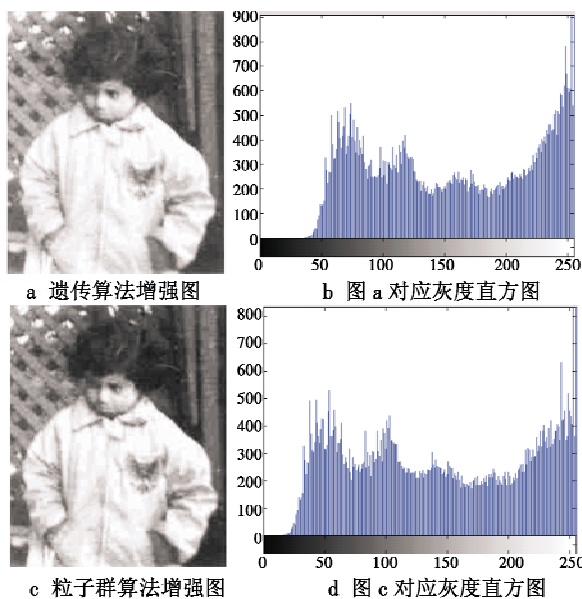


图 5 方差适应度函数优化增强结果及其灰度直方图
Fig. 5 Results of variance fitness function and gray histogram

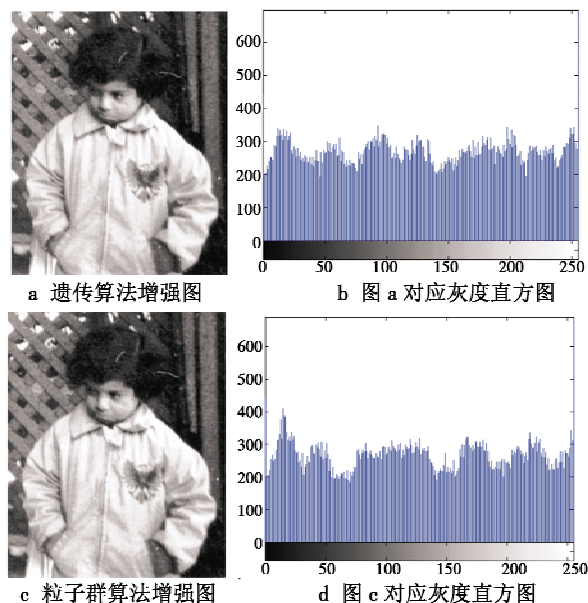


图 6 本文适应度函数优化增强结果及其灰度直方图
Fig. 6 Results of the new fitness function and gray histogram

由图 5、图 6 可知,本文设计的新的适应度函数应用到图像非线性增强优化算法中,与一般仅含方差的适应度函数图像增强算法比较,灰度分布更加均匀,对比度明显,视觉效果更好。

5 结论

本文通过改进智能优化算法中的适应度函数,将评价图像质量的 5 要素:能量、信息熵、紧致度、信噪改变量以及像素差别引入到该函数的设计中,一方面实现了图像非线性增强的自动化性能,另一方面有效地提高了图像增强效果,具有一定的实用价值。为进一步提高基于优化算法的图像非线性增强效果,日后可以从各种操作算子的设置入手进一步改进算法。

参考文献

- [1] KUNDU M K, PAL S K. Automatic selection of object enhancement operator with quantitative justification based on fuzzy set theoretic measures[J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11(12): 811-829.
- [2] TUBBS J D. A note on parametric image enhancement[J]. Pattern Recognition, 1987, 20(6): 617-621.
- [3] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [4] 罗兵,陈恒法,邓虹. 基于遗传优化的图像增强模糊算法[J]. 华南师范大学学报:自然科学版,2007(1): 32-36.
- [5] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C]//Proceedings of IEEE Neural Networks (IV), 1995, 4:1942-1948.
- [6] 卢丽敏,周海银. 一种基于遗传算法的图像增强方法[J]. 数学理论与应用,2003,23(1): 82-88.
- [7] ROSENFELD A, KAK A C. Digital picture processing[M]. New York: Academic Press, 1982:154-167.
- [8] 孙勇强,秦媛媛. 基于微粒群算法的彩色图像增强研究[J]. 徐州工程学院学报:自然科学版,2009,24(3): 36-40.
- [9] 罗圣敏. 基于遗传算法的图像增强技术研究[J]. 清远职业技术学院学报,2010,3(3): 54-56.
- [10] 雷英杰,张善文,李续武. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学,2005.
- [11] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. Digital image processing using Matlab[M]. Prentice Hall, 2003.