

基于量子萤火虫和增益 Beta 的医学 DR 图像自适应增强

张剑飞¹, 杜晓昕¹, 王 波²

(1 齐齐哈尔大学 计算机与控制工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006;

2 齐齐哈尔大学 教育与传媒学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘 要: 为了解决医学 DR 图像对比度低、边缘模糊、细节不清晰和缺乏自适应增强的问题, 提出一种基于量子萤火虫和增益 Beta 的医学 DR 图像自适应增强方法. 该方法针对传统 Beta 变换的不足, 提出了增益 Beta 变换方法, 提出了应用于增益 Beta 变换的二分类别判定方法和参数约束修正方法. 为实现自适应的增强, 将量子计算和萤火虫群算法结合提出一种量子萤火虫群算法, 提出一种 FHCE 图像增强质量评价标准作为算法的适应度函数, 该算法可快速精确求解应用于医学 DR 图像自适应增强的增益 Beta 变换的最优增强参数值. 实验结果表明这种方法提高了医学 DR 图像的对比度, 边缘和细节更加的清晰, 能够自适应增强各类型医学 DR 图像.

关键词: 量子萤火虫群算法; 增益 Beta 变换; 医学 DR 图像; 图像增强

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0135-05

Medical DR Image Adaptive Enhancement Based on Quantum Glowworm and Gain Beta

ZHANG Jian-fei¹, DU Xiao-xin¹, WANG Bo²

(1 College of Computer and Control Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China;

2 College of Education and Communication, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)

Abstract: According to the problem about medical DR image that contrast is reduced, edge is vague, details are buried, it is short of adaptive enhancement, method of medical DR image adaptive enhancement based on quantum glowworm and gain Beta is proposed. A gain Beta transformation method is put forward aiming at the shortage of traditional Beta transformation. A dichotomy category determination method and parameter constraint revision method applied to gain Beta transformation are given. In order to realize the adaptive enhancement, a quantum glowworm swarm algorithm based on quantum computation and glowworm swarm algorithm is proposed. A HHCE image enhancement quality evaluation criteria is defined, and it is used as fitness function of this algorithm. Optimal enhancement parameters of gain Beta transformation applied to medical DR image adaptive enhancement are computed fleetly and precisely. Simulation experiment on this method about medical DR image shows that contrast is raised, edge and details are clearer, adaptive enhancement on different kinds of medical DR images is realized.

Key words: quantum glowworm swarm algorithm; gain Beta transformation; medical DR image; image enhancement

1 引言

目前直接数字化 X 射线成像 (Digital Radiography, DR) 很多性能要高于计算机 X 射线成像 (computed radiography, CR), 成为边缘信息模糊以

及对对比度低、质量低的医学 DR 图像可导致医生误诊的发生, 因此需要对医学 DR 图像进行增强处理, 高质量的医学 DR 图像可以辅助医生做一种新兴的医学影像手段^[1]. 由于受人为、环境和噪声等不利因素的影响, 可使医学 DR 图像的细节不清晰, 不能做

收稿日期: 2013-07-23; 修回日期: 2013-09-08

基金项目: 齐齐哈尔市科学技术计划项目 (GYGG201212)

出准确的诊断^[2]. 本文提出一种基于量子萤火虫和增益 Beta 的医学 DR 图像自适应增强方法, 该方法不仅可提高图像的质量方便医生诊断, 同时还具有自适应不同类型图像的增强, 具有自适应增强的优点.

2 医学 DR 图像自适应增强

2.1 自适应增强技术路线

医学 DR 图像自适应增强的技术路线分为三个部分: (1) 针对传统 Beta 变换的弊端提出了一种增益 Beta 变换; (2) 提出一种智能寻优算法量子萤火虫群算法; (3) 采用量子萤火虫群算法求解增益 Beta 变换的最优增强参数, 从而实现基于增益 Beta 变换的医学 DR 图像的自适应增强.

2.2 增益 Beta 变换

2.2.1 医学 DR 图像增强原理

医学 DR 图像增强形式表达见式(1):

$$I_{x,y} = f(i_{x,y}) \quad (1)$$

式中, $i_{x,y}$ 为原医学 DR 图像的灰度值, $I_{x,y}$ 为增强后医学 DR 图像的灰度值, f 为变换函数, 根据医学 DR 图像的质量可将变换函数 f 分成四类.

f^1 类变换: 对医学 DR 图像的偏暗部分进行拉伸.

f^2 类变换: 对医学 DR 图像的偏亮部分进行拉伸.

f^3 类变换: 对医学 DR 图像的中间部分进行拉伸, 偏暗和偏亮部分压缩.

f^4 类变换: 对医学 DR 图像的偏暗和偏亮部分拉伸, 中间部分进行压缩.

Tubbs 提出的经典 Beta 变换可自动拟合上述四类变换曲线, 但由文献[3]可知 Beta 变换存在参数可调范围小以及针对 f^4 类变换方法几乎失效等问题, 应用受到了一定局限. 本文针对 Beta 变换的不足提出了一种改进的 Beta 变换 - 增益 Beta 变换.

2.2.2 增益 Beta 变换

归一化的非完全增益 Beta 变换函数 $F_G(\varphi)$ 可自动拟合 $f^1 \sim f^4$ 类变换. 归一化的非完全增益 Beta 变换函数 $F_G(\varphi)$ 定义见式(2).

$$F_G(\varphi) = B_G^{-1}(a, b, c, d) \int_0^\varphi \frac{k^{a-1} (1-k)^{b-1} + k^{c-1} (1-k)^{d-1}}{2} d_k, \quad 0 \leq a, b, c, d \leq 10 \quad (2)$$

式中, $B_G(a, b, c, d)$ 为增益 Beta 变换函数, 其定义见式(3).

$$B_G(a, b, c, d) = \int_0^1 \frac{k^{a-1} (1-k)^{b-1} + k^{c-1} (1-k)^{d-1}}{2} d_k, \quad 0 \leq a, b, c, d \leq 10 \quad (3)$$

使用增益 Beta 变换的医学 DR 图像变换过程定义为式(4).

$$I_{x,y} = f(i_{x,y}, a, b, c, d) = \int_0^{i_{x,y}} \frac{k^{a-1} (1-k)^{b-1} + k^{c-1} (1-k)^{d-1}}{2 \times B_G(a, b, c, d)} d_k, \quad 0 \leq a, b, c, d \leq 10, i_{x,y} \in [0, 1], I_{x,y} \in (0, 1) \quad (4)$$

增益 Beta 变换比 Beta 变换的可调参数大, 尤其拟合 f^4 类变换曲线要比 Beta 变换性能更好.

2.2.3 二分类别判定方法

增益 Beta 变换公式(式(3))中的调节参数 a, b, c, d 需要根据不同的变换类别而做不同的参数约束修正. 本文提出了一种二分类别判定方法, 该方法见判定规则 1 ~ 5.

判定规则 1 初始化参数及函数: 设图像的灰度范围为 $[0, L]$, 函数 $CG(m, n)$ 实现统计图像在灰度范围 $[m, n]$ 内的灰度分布, 函数 $\eta(i)$ 实现求实数 i 的向上取整的值.

判定规则 2 若 $CG(0, \eta((\eta((L+1)/2) + 1)/2))$ 大于 $CG(\eta((\eta((L+1)/2) + 1)/2) + 1, \eta((L+1)/2))$, 同时也大于 $CG(\eta((L+1)/2) + 1, L)$, 则图像属于 f^1 类变换.

判定规则 3 若 $CG(\eta((L - \eta((L+1)/2) + 1)/2), L)$ 大于 $CG(\eta((L+1)/2), \eta((L - \eta((L+1)/2) + 1)/2) - 1)$, 同时也大于 $CG(0, \eta((L+1)/2) - 1)$, 则图像属于 f^2 类变换.

判定规则 4 若 $CG(\eta((\eta((L+1)/2) + 1)/2), \eta((L+1)/2))$ 大于 $CG(0, \eta((\eta((L+1)/2) + 1)/2) - 1)$, 同时

$CG(\eta((L+1)/2) + 1, \eta((L - \eta((L+1)/2) + 1)/2))$ 大于 $CG(\eta((L - \eta((L+1)/2) + 1)/2) + 1, L)$, 则图像属于 f^3 类变换.

判定规则 5 若 $CG(\eta((\eta((L+1)/2) + 1)/2), \eta((L+1)/2))$ 小于 $CG(0, \eta((\eta((L+1)/2) + 1)/2) - 1)$, 同时 $CG(\eta((L+1)/2) + 1, \eta((L - \eta((L+1)/2) + 1)/2))$ 小于 $CG(\eta((L - \eta((L+1)/2) + 1)/2) + 1, L)$, 则图像属于 f^4 类变换.

2.2.4 参数约束修正

医学 DR 图像使用二分类别判定方法, 确定变换类别之后, 需要对不同类别的增益 Beta 变换的调节参数进行约束修正处理, 参数约束修正见表 1.

表1 参数约束修正

变换类别	a 取值	b 取值	c 取值	d 取值
f^1	1	$[0, 10]$	1	$[0, 10]$
f^2	$[0, 10]$	1	$[0, 10]$	1
f^3	$[0, 10]$	$[0, 10]$	$[0, 10]$	$[0, 10]$
f^4	$[0, 10]$	1	1	$[0, 10]$

经过参数约束修正后的增益 Beta 变换可由式(5)表示.

$$B_G = \begin{cases} \int_0^1 \frac{(1-k)^{b-1} + (1-k)^{d-1}}{2} d_k & f^1 \\ \int_0^1 \frac{k^{a-1} + k^{c-1}}{2} d_k & f^2 \\ \int_0^1 \frac{k^{a-1} (1-k)^{b-1} + k^{c-1} (1-k)^{d-1}}{2} d_k & f^3 \\ \int_0^1 \frac{k^{a-1} + (1-k)^{d-1}}{2} d_k & f^4 \end{cases} \quad (5)$$

2.3 量子萤火虫群算法

基本萤火虫群算法^[4]是新兴的群体智能仿生算法,量子计算^[5]理论也是学术界引起高度关注的一种智能计算方法.本文提出的量子萤火虫群算法是将量子计算和基本萤火虫算法相融合的一种全新算法,该算法较基本萤火虫群算法.

2.3.1 量子萤火虫的编码方式

在量子萤火虫群算法中,量子萤火虫的编码方式见式(6).

$$|x_i\rangle = \begin{bmatrix} \cos\theta_{i1} & \cos\theta_{i2} & \cdots & \cos\theta_{iq} \\ \sin\theta_{i1} & \sin\theta_{i2} & \cdots & \sin\theta_{iq} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, $i \in [1, p]$, $j \in [1, q]$, $\theta_{ij} = 2\pi \times \text{rand}$, rand 为 $(0, 1)$ 之间的随机数, p 为萤火虫群规模, q 为维数.

2.3.2 量子萤火虫解空间变换

量子萤火虫群算法中萤火虫寻优个体组成的解空间变换采用线性变换实现,变换方法见式(7).

$$x'_i = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 + \cos\theta_{ij} & 1 - \cos\theta_{ij} \\ 1 + \sin\theta_{ij} & 1 - \sin\theta_{ij} \end{bmatrix} x_i \quad (7)$$

2.3.3 量子萤火虫变异

为了使算法更快地求解全局最优值,对量子萤火虫实施变异操作,变异操作中对量子萤火虫增加符合高斯分布的扰动因子,可使算法跳出局域极值,收敛于全局最优解.具体的变异操作见式(8).

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_{ij} \\ \sin\theta_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 + N(0, 1) \\ 1 + N(0, 1) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_{ij} \\ \sin\theta_{ij} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, $N(0, 1)$ 为高斯分布的随机扰动项.

2.3.4 量子萤火虫的移动更新过程

第 i 只萤火虫向第 j 只萤火虫移动更新过程中,量子萤火虫的状态变化见式(9).

$$\Delta\theta = \text{rand} \times \text{step} \frac{\theta_j - \theta_i}{\|\theta_j - \theta_i\|} \quad (9)$$

式中, step 为移动步长.

2.3.5 量子萤火虫群算法的适应度函数

由于本文提出的量子萤火虫群算法是为了快速精确求解应用于医学 DR 图像增强的增益 Beta 变换的最佳变换参数,本文提出了一种 FHCE 图像增强质量评价标准作为算法的适应度函数, FHCE 图像增强质量评价标准具体见式(10).

$$\begin{aligned} \Omega &= F_{\text{variance}} + H_{\text{abundance}} + \frac{1}{CE_{\text{cross}}} \\ F_{\text{variance}} &= \frac{1}{n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f^2(x, y) - \left(\frac{1}{n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y) \right)^2 \\ H_{\text{abundance}} &= - \sum_{i=0}^{L-1} q_i \ln q_i \\ CE_{\text{cross}} &= \sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln \frac{p_i}{q_i} \end{aligned} \quad (10)$$

式中,图像 $f(x, y)$ 的分辨率 $n = M \times N$, p_i 为原图像, q_i 为增强后图像.

FHCE 图像增强质量评价标准 Ω 的值越大,图像的增强效果越好. FHCE 图像增强质量评价标准中包含了衡量图像增强质量的图像增强方差 F_{variance} , 图像的信息熵 $H_{\text{abundance}}$ 和图像的交叉熵 CE_{cross} .

2.4 基于量子萤火虫和增益 Beta 的自适应增强算法

基于量子萤火虫和增益 Beta 的医学 DR 图像自适应增强算法步骤如下.

步骤1 输入待增强医学 DR 图像 I .

步骤2 采用二分类别判定方法对医学 DR 图像 I 进行类别判定.

步骤3 根据步骤2得出的变换类别进行增益 Beta 变换的参数约束修正.

步骤4 采用量子萤火虫群算法求解针对医学 DR 图像增强的增益 Beta 变换修正后的最佳变换增强参数 a^* , b^* , c^* , d^* .

步骤5 根据增益 Beta 变换和步骤4得出的最佳变换增强参数 a^* , b^* , c^* , d^* , 对医学 DR 图像 I 进行增强处理.

步骤6 输出增强后的医学 DR 图像 I^* .

由于算法中采用量子萤火虫群算法智能寻优, 可针对不同的图像求解出各自的最优增强调节参数值, 因此本算法具有自适应性。

3 实验结果与分析

在 Windows 7 操作系统下采用 MATLAB 7.0 软件进行仿真实验. 实验素材为齐齐哈尔市第一医院医学影像科提供的真实病人 DR 图像, 分别有胸部正位 DR 图像、颈椎侧位 DR 图像和腹部正位 DR 图像。

3.1 图像增强效果主观评价分析

对医学 DR 图像的增强效果主观评价主要从如下几个方面展开: 边缘信息、细节信息和对比度. 如图 1 所示, 通过对三组医学 DR 图像采用本文算法增强前后的对比图, 可清楚地看到本文算法增强后的图像边缘信息以及细节信息更加清晰, 对比度有了明显的提高。

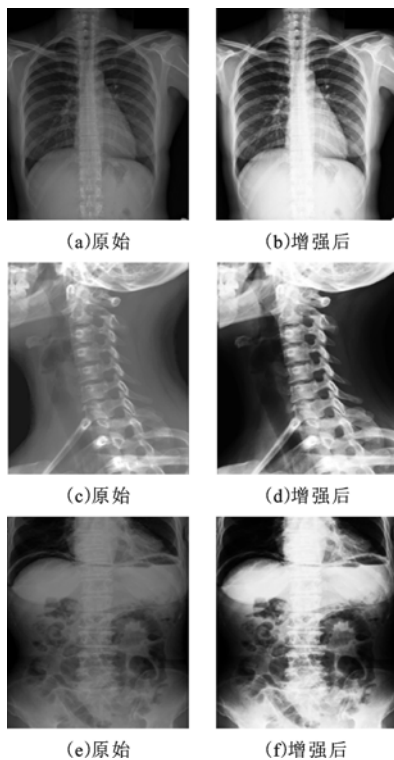


图 1 主观评价结果

为了进一步分析增强效果, 图 1 三组增强前后的图像的直方图如图 2 所示. 从图 2 可见, 增强前图像的直方图灰度分布不均匀, 而增强后的图像的直方图分布更加的均匀, 这说明本文算法的增强效果较佳。

3.2 图像增强效果客观评价分析

图像增强效果客观评价主要是对主观评价的指

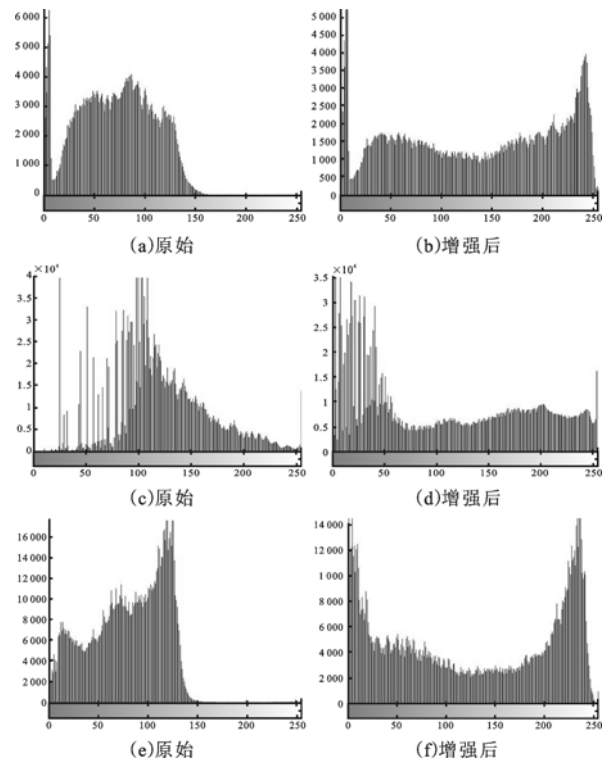


图 2 直方图对比

标进行量化, 本文对医学 DR 图像客观评价体系中的对比度评价量化采用式(11)实现, 边缘信息和细节信息评价量化采用模糊性指数来衡量, 模糊性指数^[6]见式(12)。

$$\text{con} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left[f(i, j) - \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j) \right]^2} \quad (11)$$

$$F_B =$$

$$\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \min[P(i, j), 1 - p(i, j)] \quad (12)$$

式中, $P(i, j) = \sin[0.5\pi(1 - f(i, j)/f_{\max})]$, $f(i, j)$ 为图像中位置为 (i, j) 的灰度值, $f_{\max}$ 为图像最大灰度值. 图像清晰度随模糊指数的减小而增大。

客观评价结果见表 2。

表 2 客观评价结果

参数	图 1(a)	图 1(b)	图 1(c)	图 1(d)	图 1(e)	图 1(f)
对比度	485.8	5 047.6	410.6	5 058.8	462.1	4 093.9
模糊指数	0.325 7	0.106 2	0.400 8	0.112 5	0.378 9	0.138 9

由表 2 可以看到, 本文算法增强后的医学 DR 图像的对比度要远远高于增强前, 模糊指数要远远低于增强前。

4 结束语

本文提出了一种改进的 Beta 变换方法—增益

Beta 变换方法,提出了相应的二分类别判定方法和参数约束修正方法.将量子计算和萤火虫群算法相结合,提出了一种量子萤火虫群寻优算法,提出了 FHCE 图像增强质量评价标准.实验结果表明:本文方法无论是主观评价体系还是客观评价体系分析增强效果都较好.增强后的医学 DR 图像视觉效果得到了很大提高,对医生进行科学的医学诊断起到了很大帮助.

参考文献:

- [1] 罗述谦,周果宏.医学图像处理与分析[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 章毓晋.图像工程(中册)-图像分析[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [3] 孙棣华,张路,赵敏,等.基于广义 Beta 函数的图像自适应增强方法[J].计算机应用研究,2011,28(12):4742-4745.

- [4] Krishnanand K N, Ghose D. Theoretical foundations for rendezvous of glowworm-inspired agent swarms at multiple locations [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2008, 56(7): 549-569.
- [5] 陈晓峰,宋杰.量子人工鱼群算法[J].东北大学学报:自然科学版,2012,33(12):1710-1713.
- [6] 丁生荣,马苗,郭敏.人工鱼群算法在自适应图像增强中的应用[J].计算机工程与应用,2012,48(2):185-187.

作者简介:

张剑飞 男,(1974—),博士研究生,副教授.研究方向为人工智能及图像处理.

杜晓昕 女,(1983—),硕士,讲师.研究方向为人工智能及图像处理.

王波 男,(1980—),硕士,讲师.研究方向为智能计算及图像处理.

(上接第 134 页)

- [9] Kim J K R, Murmann B. A 12-b, 30-MS/s, 2.95-mW pipelined ADC using single-stage class-AB amplifiers and deterministic background calibration[J]. IEEE J Solid-State Circuits, 2012,47(9):1-11.
- [10] Daito M, Matsui H, Ueda M, et al. A 14-bit 20-MS/s pipelined ADC with digital distortion calibration[J]. IEEE J Solid-State Circuits, 2006,26(11):2417-2423.

作者简介:

宫月红 女,(1982—),博士研究生.研究方向为模拟混合信号集成电路设计与数字信号处理.

罗敏 男,(1978—),博士研究生,讲师.研究方向为模拟、混合信号集成电路设计.

金杰 男,(1990—),本科生.研究方向为模拟混合信号集成电路设计.