

自适应图像模糊增强快速算法

姜 桃^{1,2}, 赵春江², 陈 明¹, 杨信廷², 孙传恒²

(1. 上海海洋大学信息学院, 上海 201306; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘 要: Pal-King 算法的隶属度函数复杂, 图像增强速度慢, 且渡越点难以设置。针对上述问题, 提出一种自适应图像模糊增强快速算法。采用新的隶属度函数使模糊增强函数的增强幅度更大、速度更快, 通过改进 OTSU 算法的自适应阈值计算公式, 使渡越点的设置更合理。实验结果表明, 与 Pal-King 算法相比, 改进算法具有更快的增强速度和更好的增强效果。

关键词: 图像增强; OTSU 算法; Pal-King 模糊增强算法; 自适应阈值; 渡越点

Fast Adaptive Image Fuzzy Enhancement Algorithm

JIANG Tao^{1,2}, ZHAO Chun-jiang², CHEN Ming¹, YANG Xin-ting², SUN Chuan-heng²

(1. College of Information Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Agricultural Information Engineering Technology Research Center, Beijing 100097, China)

【Abstract】 Pal-King algorithm has some shortcomings such as complex membership function, low speed of image enhancement and difficulty in transit point set, so this paper presents a fast adaptive image fuzzy enhancement algorithm. By using new membership function, it makes fuzzy enhancement function has higher enhancement extent and speed. Adaptive threshold formula of OTSU algorithm is improved to gain more suitable transit point. Experimental results show that the improved algorithm with adaptive threshold can set better transit point and has better effects of image enhancement and higher speed.

【Key words】 image enhancement; OTSU algorithm; Pal-King fuzzy enhancement algorithm; adaptive threshold; transit point

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.19.070

1 概述

由于图像本身具有不确定性, 即模糊性, 因此可以用模糊集理论处理图像。传统的图像增强方法不论是频域方法还是空间域方法, 都不能很好地解决全局、局部和计算量之间的矛盾, 因此, 研究者转面用其他方法进行图像增强。自文献[1]提出一种模糊增强方法以来, 模糊集理论被广泛地用于图像增强应用中, 并取得了良好的效果。但该算法同时存在运算量大、耗时长等问题, 从而影响了图像增强效果。文献[2-3]分别提出基于模糊理论的增强函数和隶属度函数的改进方法, 但两者计算量都较大。本文针对上述问题, 提出了一种改进的自适应图像模糊增强快速算法。

2 传统的模糊增强算法

2.1 Pal-King 模糊增强算法原理

将一幅灰度级为 L 的 $M \times N$ 元图像由空间域映射到模糊特征域, 对应的模糊矩阵记为 P :

$$P = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N \mu_{ij} / P_{ij}, i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, N$$

其中, μ_{ij}/P_{ij} 表示图像中像素点 (i, j) 相对于某个特定灰度级 P_{ij} 的隶属度为 $\mu_{ij}(0 \leq \mu_{ij} \leq 1)$, 一般情况下取 P_{ij} 为最大灰度级 P_{\max} 。Pal-King 定义的隶属度函数如下:

$$\mu_{ij} = F(P_{ij}) = [1 + ((P_{\max} - P_{ij})/F_d)]^{-F_e} \quad (1)$$

其中, F_d 称为倒数模糊因子; F_e 称为指数模糊因子, 通常取 $F_e=2$ 。

对 μ_{ij} 进行模糊增强, Pal-King 定义的非线性增强变换函数为: $\mu'_{ij} = E_r(\mu_{ij}) = E_1(E_{r-1}(\mu_{ij}))$, $r=1, 2, \dots$, 其中:

$$E_1(\mu_{ij}) = \begin{cases} 2\mu_{ij}^2 & 0 \leq \mu_{ij} \leq 0.5 \\ 1-2(1-\mu_{ij})^2 & 0.5 < \mu_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

利用 F^{-1} 对 μ'_{ij} 进行逆变换即可将增强后的图像由模糊特征域变换回空间域。逆变换方式如下:

$$I_{ij} = F^{-1}(\mu'_{ij}) = P_{\max} + F_d[1 - (\mu'_{ij})^{\frac{1}{F_e}}] \quad (3)$$

2.2 Pal-King 算法的缺点

当 $\mu_{ij}=\mu_c=F(P_c)=0.5$ 时, 称 P_c 为渡越点。现有的渡越点选择方法一般是根据先验知识来确定的。由式(1)可以看出, 在区间 $[P_{\min}, P_{\max}]$ 上, μ_{ij} 是一个增函数。当 P_{ij} 取最小值即 $P_{ij}=P_{\min}$ 时, 相应的 μ_{ij} 也取得最小值。设 μ_{ij} 的最小值为:

$$V = (\mu_{ij})_{\min} = (1 + (L-1)/F_d)^{-F_e} \quad (4)$$

由式(4)不难看出 $V > 0$ 。取 $r=2, P_c=0.5$, 把 V 代入式(2), 当 $V < 0.5$ 时, 有 $E_1(V)=2 \times V^2 < V$, 将 $E_1(V)$ 代入式(3), 求得 $I_{ij} < 0$ 。显然图像中像素灰度级不可能为负数, Pal-King 算法将其硬性规定为 0, 这样就会损失图像中的低灰度值边缘信息, 从而影响图像的整体增强效果。

对于图像增强中渡越点的阈值设置问题, 采用阈值分割方法中的自动选择方法, 这样的方法特别适合背景和目標占据不同灰度级范围的图像, 从而自动完成渡越点的设置。

3 自适应图像模糊增强快速算法

3.1 改进的隶属度函数

研究发现, 采用不同的隶属度函数对最终的检测结果并没有很大影响^[4], 但是会影响运算速度, 所以, 本文对传统模糊增强算法中的隶属度函数进行改进。为了能够应用数字

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA10Z239)

作者简介: 姜 桃(1985—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 决策支持系统; 赵春江, 研究员、博士; 陈 明, 教授、博士; 杨信廷, 研究员、博士; 孙传恒, 博士研究生

收稿日期: 2011-03-11 **E-mail:** 503943952@qq.com

图像处理技术，必须先对图像中的原始数据进行转换，通常对其进行归一化处理，即变换到[0,1]区间内，最小值对应0，最大值对应1。其线性转换模型为：

$$P_{ij} = X_{ij} / (L - 1) \tag{5}$$

其中， P_{ij} 为像素点 (i, j) 的隶属度， X_{ij} 为像素点 (i, j) 的灰度级； L 为256，即灰度级的总数，它是一个常数。

3.2 新的模糊增强函数

对图像进行模糊增强处理，反复采用非线性变换，即：

$$\mu'_{ij} = I_r(\mu_{ij}) = I_1(I_{r-1}(\mu_{ij})), r = 1, 2, \dots, \text{ 其中,}$$

$$I_1(\mu_{ij}) = \begin{cases} P_c - (P_c^2 - P_{ij}^2)^{1/2} & 0 \leq P_{ij} \leq P_c \\ P_c + ((1 - P_c)^2 - (1 - P_{ij})^2)^{1/2} & P_c < P_{ij} \leq 1 \end{cases} \tag{6}$$

其中， P_c 是渡越点处对应的隶属度； P_{ij} 为像素点 (i, j) 的隶属度。该变换将 Pal-King 算法的反复递归思想与本文提出的三次函数模糊增强算子相结合，增大了大于渡越点 P_c 的 μ_{ij} 的值，同时减小了小于渡越点 P_c 的 μ_{ij} 的值。随着 r 的增大，图像的增强效果会越来越明显，当 $r \rightarrow \infty$ 时，最终将产生二值图像。增强函数 $E_1(\mu_{ij})$ 和 $I_1(\mu_{ij})$ 如图 1 所示。可以看出，当 $0 \leq P_{ij} \leq P_c$ 时， $I_1(\mu_{ij}) \leq E_1(\mu_{ij})$ ；当 $P_c < P_{ij} \leq 1$ 时， $I_1(\mu_{ij}) \geq E_1(\mu_{ij})$ 。说明 $I_1(\mu_{ij})$ 函数增强的幅度大于等于 $E_1(\mu_{ij})$ 。文献[5]提出了基于直方图的图像模糊增强算法，有效提高了程序运算速度，但是没有提高函数的增强幅度。

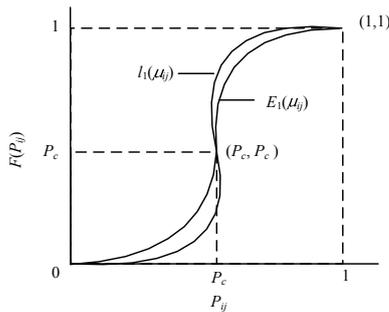


图1 函数 $E_1(\mu_{ij})$ 和 $I_1(\mu_{ij})$

3.3 逆变换

对 μ'_{ij} 进行逆变换即可得到增强后图像的灰度值，逆变换公式如下：

$$X_{ij} = P_{ij}(L - 1) = I_r^{-1}(\mu'_{ij})(L - 1) \tag{7}$$

以上逆变换避免了 Pal-King 算法中出现的逆变换后像素灰度值为负数的情况，保留了图像中低灰度值边缘信息，从而保证了图像信息的完整性，从整体上对图像进行了增强。

4 渡越点选择

4.1 OTSU 算法

在图像增强过程中，选择合适的渡越点很重要，这会直接影响最终的增强效果。自适应阈值分割方法能够较好地实现图像分割，其中，OTSU 最大类间方差法与迭代法、一维最大熵法、二维最大熵法、简单统计法等方法相比效果最好，因此，常用于自适应阈值的选取。但是，由于该算法的基本思想是把图像中的像素按灰度值用阈值 T 分成 C_1 和 C_2 2 类， C_1 由灰度值在 $[0, T]$ 之间的像素组成， C_2 由灰度值在 $[T+1, L-1]$ 之间的像素组成，按下式计算 C_1 和 C_2 间的类间方差：

$$O(t)^2 = w_1(t)w_2(t)[U_1(t) - U_2(t)]^2 \tag{8}$$

其中， $w_1(t)$ 为 C_1 中包含的像素数； $w_2(t)$ 为 C_2 中包含的像素数； $U_1(t)$ 为 C_1 中所有像素的平均灰度值； $U_2(t)$ 为 C_2 中所有像素的平均灰度值。 T 在 $[0, L-1]$ 内依次取值，使 O^2 最大的 T 值即为 OTSU 法的最佳阈值。

4.2 改进的 OTSU 算法

OTSU 算法对于像素级差别不大的图像会出现将隶属度硬性规定为 0 的现象，从而丢失很多灰度信息。针对这一问题，对 OTSU 法的算子作如下改进：

$$P(t) = w_1(t)w_2(t)|U_1(t) - U_2(t)| \tag{9}$$

使 $P(t)$ 最大的 T 值即为本文改进算子的最佳阈值。图 2 给出 2 种方法在渡越点选择效果上的比较结果，其中，图 2(a) 为输入图像；图 2(b) 和图 2(c) 是输出图像。本文算法与 OTSU 算法相比，虽然局部有点模糊，但整体效果较好，保留了更多的低灰度信息，更好地实现了图像分割。因此，本文算法能更有效地选择出自适应阈值。

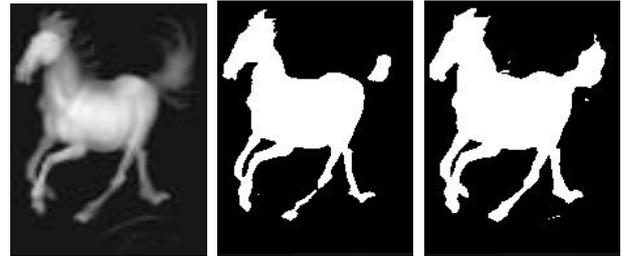


图2 本文算法和 OTSU 算法的渡越点选择效果比较

5 仿真结果与分析

本文用微软公司开发的 C# 语言作为仿真语言，仿真环境为 Microsoft Visual Studio 2005，初始图像和处理后的图像均为 24 位 RGB 灰度图像。实验采用自适应阈值来实现渡越点的自动设置，使用本文改进的自适应阈值分割方法寻找到待处理图像的自适应阈值，并将它作为图像模糊增强算法中渡越点的值，即作为式(6)中 P_c 参数的值。

为了体现本文算法在时间上的优越性，将其与 Pal-King 算法进行编程并对运行时间进行比较，所得到的程序运行时间结果如表 1 所示。从中可知，本文算法所用时间明显更少，几乎只有 Pal-King 算法的一半。

表1 本文算法和 Pal-King 算法的运行时间比较 ms

迭代次数	本文算法	Pal-King 算法
1	5.80	10.36
2	10.35	17.58

2 种算法执行后的图像增强效果如图 3 所示。其中，图 3(a) 为输入图像；图 3(b)~图 3(e) 均为利用 2 种算法迭代后的输出图像。



(a)原图 (b)Pal-King 算法迭代 1 次 (c)本文算法迭代 1 次



(d)Pal-King 算法迭代 2 次 (e)本文算法迭代 2 次

图3 本文算法与 Pal-King 算法的增强效果比较