

灰度图像对比度提高方法及其评价

王建卫¹, 曲中水²

(1. 东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:为了解决低照度图像的对比度提高问题,依据基于像素的图像处理理论,研究应用非线性变换提高灰度图像对比度的方法。在分析对数变换效果的基础上,提出了基于幂函数的非线性变换的灰度图像对比度提高算法,并通过大量的实验数据说明了算法的参数范围。为了客观地评价灰度图像对比度提高的质量,定义了度量增强后图像的对比度与原图对比度的比例关系的对比度增量参数,给出了亮度、标准差、对比度增量等参数的主要计算公式。实验中实现了三种典型的基于幂函数的非线性变换的对比度提高算法,与低照度的原图像相比较,结果图像更有利于人眼观察,且对比度提高程度明显,与对数变换相比较具有算法执行速度快、易于实现和适用性强的优点。

关键词:灰度图像;对比度提高;客观质量评价;非线性变换

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)10-0119-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.10.025

Gray Image Contrast Enhancement Method and Its Evaluation

WANG Jian-wei¹, QU Zhong-shui²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forest University, Harbin 150040, China;

2. School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In order to solve the problem of enhancing the contrast of low illumination images, according to pixel-based image processing theory, we study a method for improving the contrast of gray image by using nonlinear transformation. On the basis of analyzing the effect of logarithmic transformation, we propose an improved algorithm of gray image contrast enhancement based on nonlinear transformation of power function. And the parameter range of the algorithm is illustrated by a large number of experimental data. In order to objectively evaluate the quality of gray image contrast enhancement, the contrast increment parameter is defined which measures the contrast ratio between the original image and the result image. The main formulas of the parameters such as brightness, standard deviation and contrast increment are given. The three typical contrast enhancement algorithms based on power function nonlinear transformation are implemented in the experiment. Compared with original image of low illumination, the results image is more conducive to human eye observation, and the contrast is improved significantly. Compared with logarithmic transformation, the algorithm has the advantages of faster execution, easier implementation and stronger applicability.

Key words: gray image; contrast enhancement; objective quality assessment; nonlinear transformation

0 引言

灰度图像的增强是图像处理研究领域的基础问题,其中对比度的提高是图像分割的基础^[1-3],决定了图像分析和理解的质量^[4],因此灰度图像对比度的提高对于数字图像处理技术具有重大的意义。

由于灰度图像对比度的提高是图像增强的一个重要方面^[5-7],根据图像处理的空域理论^[8-9],直接灰度变换是基于像素的点处理的典型方法,如图像求反、线

性灰度变换、对数变换、灰度分层和位图切割等,分别可实现图像求反、图像的分层和对比度伸缩等不同的增强效果,具有方法简单和易于实现的优点^[10-11]。为了实现灰度图像对比度的提高,对数变换是一种比较有效的方法^[12]。一般地,所选取的对数的底为大于1的实数,分析对数函数的增减性可知,对数变换的方法适用于亮度差异较小、对比度较大的图像;当应用对数变换处理亮度差异较大和低对比度的灰度图像时,增

收稿日期:2017-10-23

修回日期:2018-03-13

网络出版时间:2018-05-25

基金项目:国家自然科学基金(61103149);黑龙江省教育科学技术研究项目(12521101)

作者简介:王建卫(1973-),女,博士,副教授,研究方向为模式识别与智能系统。

网络出版地址: <http://jns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180525.1550.008.html>

强效果不理想,难以实现对比度的动态提高。

综上所述,对数函数是一种典型的非线性变换,研究基于幂函数等非线性的对比度提高方法是有必要的,可见,应用幂函数等非线性变换用于对比度的提高将是有效的方法。因此,文中提出了基于幂函数的非线性变换的对比度提高算法;为了客观地评价灰度图像对比度提高的质量,定义了度量增强后图像的对比度与原图对比度的比例关系的对比度增量参数,并给出了原始图像和结果图像的亮度、标准差、对比度增量等参数的主要计算公式。

1 基于对数变换的图像对比度提高方法

设 $f(x, y)$ ($0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1$) 是原始灰度图像(以下用 f 表示), $g(x, y)$ 是结果图像(以下用 g 表示),灰度级数 $L = 2^n$ (n 为表示像素值的二进制数的位数), T 定义在每个点 (x, y) 上,则 T 称为点操作。初等函数变换是基于像素的点处理操作 T 的常用方法。常用的基本初等函数有:

幂函数:

$$y = x^u \quad (u \in R \text{ 是常数}) \quad (1)$$

指数函数:

$$y = a^x \quad (a > 0 \text{ 且 } a \neq 1) \quad (2)$$

对数函数:

$$y = \log_a x \quad (a > 0 \text{ 且 } a \neq 1) \quad (3)$$

因此,灰度图像的对数函数变换的计算公式如下:

$$g = C \log_a(1 + f) \quad (4)$$

其中, C 为常数; $a > 0$ 且 $a \neq 1$ 。

2 基于幂函数的灰度图像对比度提高方法

2.1 基于二次函数的灰度图像对比度提高算法

一般地,灰度图像的幂函数变换计算公式为 $g = f^\alpha$ ($\alpha > 0$ 且 $\alpha \neq 1$),式 4 可拟合为 $\alpha = 2$ 的抛物线,计算公式如下:

$$g = -\alpha f^2 + (\alpha + 1)f \quad (5)$$

其中, $\alpha \in [0, 1]$ 。

一般地, $\alpha = 1 - \frac{1}{M \times N \times 2^n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f$, 其中 n 为灰度图像像素值的表示位数。

基于二次函数变换的灰度图像对比度算法的核心思想是,大于等于 1 的正整数所表示的原始图像的像素值按照式 5 计算的取值是大于 0 的数值且具有连续性,可作为结果图像的像素值;原理是依次读取原始灰度图像的像素值 f ,使像素值的取值范围是 $[1, 2^n]$ 的正整数,计算 $g = -\alpha f^2 + (\alpha + 1)f$ 的值作为结果图像的像素值。

基于二次函数变换的灰度图像对比度提高算法如

下所述:

$g = \text{contrastquadratic}(f)$

Input:原始图像 f

Output:结果图像 g

Step1:初始化,设置 i 和 j 分别为 0;

Step2:输入原始图像 f ,并统计其行数 M 和列数 N ;

Step3:计算

$$\alpha = 1 - \frac{1}{M \times N \times 2^n} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)$$

Step4:若 $i > M$ 且 $j > N$,则转 Step10;

Step5:按照行(或列)优先的原则依次读入原始图像 f 的像素值 $f(i, j)$;

Step6:根据式 5,计算像素值 $g'(i, j) = -\alpha f(i, j)^2 + (\alpha + 1)f(i, j)$;

Step7:计算 $g'(i, j)$ 的整型数据 $\tilde{g}(i, j)$;

Step8:若 $\tilde{g}(i, j) \geq 255$, $g(i, j) \geq 255$;

Step9: i 和 j 分别加 1 后转 Step4;

Step10:输出结果图像 g ,结束。

2.2 改进的基于二次函数的对比度提高算法

为了有效地改善视觉效果,需要在像素值较低的区域进行有效增强(即提高对比度)而在像素值较高的区域进行适当地抑制(即降低对比度),修改式 5,新的二次函数计算公式如下:

$$g = pg_h + (1 - p)g_1 \quad (6)$$

其中, $p \in [0, 1]$, $p = 1 - \left(\frac{f}{2^n}\right)^2$ 。

$$g_h = -\alpha f^2 + (\alpha + 1)f \quad (7)$$

$$g_1 = 1 + \alpha(1 - f)^2 - (\alpha + 1)(1 - f) = \alpha f^2 + (1 - \alpha)f, \alpha \in [0, 1] \quad (8)$$

一般地, $\alpha = 1 - \frac{1}{M \times N \times 2^n} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f$ 。

改进算法的过程如下:

$g = \text{contrastquadratic2}(f)$

Input:原始图像 f

Output:结果图像 g

Step1:初始化,设置 i 和 j 分别为 0;

Step2:输入原始图像 f ,并统计其行数 M 和列数 N ;

Step3:计算原始图像的像素值的均值 $\overline{f(i, j)} =$

$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j), \text{并归一化 } \overline{f(i, j)}_{\text{norm}} = \frac{\overline{f(i, j)}}{2^n}, \text{则}$$

参数 $\alpha = 1 - \overline{f(i, j)}_{\text{norm}}$, $p = 1 - \overline{f(i, j)}_{\text{norm}}^2$;

Step4:若 $i > M$ 且 $j > N$,则转 Step12;

Step5:按照行(或列)优先的原则依次读入原始图

像 f 的像素值 $f(i, j)$;

Step6: 根据式 7, 计算像素值 $g_h'(i, j) = -\alpha f(i, j)^2 + (\alpha + 1)f(i, j)$;

Step7: 根据式 8, 计算像素值 $g_l'(i, j) = \alpha f(i, j)^2 + (1 - \alpha)f(i, j)$;

Step8: 根据式 6, 计算像素值 $g'(i, j) = pg_h'(i, j) + (1 - p)g_l'(i, j)$;

Step9: 计算 $g'(i, j)$ 的整型数据 $\tilde{g}(i, j)$;

Step10: 若 $\tilde{g}(i, j) \geq 255$, $g(i, j) = 255$;

Step11: i 和 j 分别加 1 后, 转 Step4;

Step12: 输出结果图像 g , 结束。

2.3 基于指数为分数的幂函数变换的对比度提高算法

当 f 为整数且 $f \in [0, 2^{n-1}]$ 时, 式 5 可拟合为指数为分数的幂函数, 计算公式如下:

$$g = f^{\frac{\alpha}{3} + \frac{1}{3}} \quad (9)$$

其中, $\alpha \in [2, 3]$ 。

基于指数为分数的幂函数变换的对比度提高算法的核心思想是, 大于等于 1 的正整数所表示的原始图像的像素值的按照式 9 计算的数值可作为结果图像的像素值。基于指数为分数的幂函数变换的对比度提高算法简述如下:

$g = \text{contrastdecimal}(f)$

Input: 灰度图像 f

Output: 灰度图像 g

Step1: 读入灰度图像 f ;

Step2: 设置参数 $\alpha = 1 - \frac{1}{M \times N \times 2^n \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f}$;

Step3: $g = f^{\frac{\alpha}{3} + \frac{1}{3}}$;

Step4: 若 $g \geq 255$, $g = 255$;

Step5: 输出灰度图像 g , 结束。

指数为 $\frac{1}{2}$ 的幂函数的计算公式如下:

$$g = \beta f^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

其中, $\beta \in [10, 20]$ 。

一般, $\beta = c \sqrt{1 - \frac{1}{M \times N \times 2^n \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f}} (c > 10)$ 。

当 c 增大时, 结果图像的亮度值增大。

修改算法 contrastdecimal 为 contrastdecimal2, Step3 为 $g = \beta f^{\frac{1}{2}}$, 并调整参数, 可实现基于指数为二分之一的幂函数变换的对比度提高算法。

3 灰度图像增强质量的评价

根据图像质量的评价准则^[13-17], 灰度图像的增强效果的评价分为客观评价准则和主观评价准则^[18-19]。

下面主要用亮度、标准差和对比度增量等客观评价参数来评估图像增强算法的效果。

亮度是图像像素值的平均值, 计算公式如下:

$$\bar{L}_f = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f \quad (11)$$

亮度的标准差反映灰度图像中黑白反差的程度, 计算公式如下:

$$s_f = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f - \bar{L}|} \quad (12)$$

对比度增量是用来度量增强后图像的对比度与原图对比度的比例关系, 反映了图像变换前后对比度的变化程度。如果对比度增量大于 1, 表明图像的对比度在原图的基础上有所增强, 更有利于人眼观察。对比度增量 C 的计算公式如下:

$$C = \frac{C_g}{C_f} \quad (13)$$

其中, 局部对比度的均值的计算公式为:

$$C_f = \sum C_{f_{w \times w}} \quad (14)$$

局部对比度的计算公式为:

$$C_{f_{w \times w}} = \frac{\max_{w \times w} - \min_{w \times w}}{\max_{w \times w} + \min_{w \times w}} \quad (15)$$

滑动窗口 W 为 $w \times w$ (通常 $w = 3, 5, 7$)。

在式 15 中, $\max_{w \times w}$ 和 $\min_{w \times w}$ 分别是 f 的滑动窗口 W 中像素值的最大值和最小值。同理, 可求 $C_g = \sum C_{g_{w \times w}}$ 。

4 实验结果与分析

为研究问题的需要, 在 MATLAB 2014a 环境下对算法进行了编程实现。

例 1: 采用 256×256 的 256 级灰度值的灰度图像 cameraman.tif 为参考图像, 并以不同的幂函数类型操作与对数变换做比较。根据第 2 节的计算方法, 各种变换方法的结果图像如图 1 所示。



(a) 原始图像



(b) 算法 log



(c) contrastquadratic



(d) contrastquadratic2

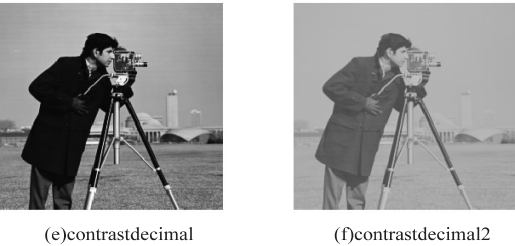


图 1 结果图像(1)

由图 1 可见,与原始图像相比,结果图像的视觉效果均有一定程度的改善,其中图像 b 的对比度得到了动态调整,但细节信息未强调;图像 d 在图像 c 的基础上,对比度进一步提高,细节信息保留完整并适当加以强调,非常有利于进一步进行分割、分析等处理;图像 e 是将图像 a 的对比度较小提高的结果图像,视觉效果良好,也有利于进一步进行分割、分析等处理;与图像 c 和图像 d 的对比度不同,在对比度提高的同时,图像 f 的亮度进一步进行了均衡化处理。

根据第 3 节的计算公式,结果图像的客观评价数据如表 1 所示。

表 1 客观评价数据比较(1)

| 算法名称 | 变换参数 | 像素值均值 | 像素值标准差 | 局部对比度均值 | 对比度增量 |
|---------------------|----------|-----------|---------|---------|----------|
| 对数变换 | 35 | 156.625 8 | 5.308 0 | 0.048 1 | 0.301 6 |
| Contrast quadratic | 0.011 6 | 88.384 9 | 8.442 8 | 0.293 8 | 8.032 39 |
| Contrast quadratic2 | 0.154 6 | 180.184 6 | 9.647 9 | 0.204 9 | 1.286 2 |
| Contrast decimal | 2.087 0 | 136.492 1 | 7.857 0 | 0.164 8 | 1.034 2 |
| Contrast decimal2 | 19.068 1 | 194.418 0 | 7.630 8 | 0.087 2 | 0.547 0 |

分析表 1 的数据可知,结果图像的客观评价数据与图 1 的结果图像的观察效果是一致的。与原始图像的像素值均值相比较,结果图像 b、c、d、e 和 f 的像素值均值变化较大;c、d、e 和 f 的像素值标准差变化较小;b、c 和 d 的局部对比度均值较接近,属于开区间 (0.1,0.3),而 b 和 f 数值较小,约为小于 0.1;b、c 和 d 的对比度增量均大于 1,f 的对比度增量与 e 相比有一定的提高。

例 2;原始图像 coins.png 的大小为 246×300,灰度级为 256。各种变换方法的结果图像如图 2 所示。结果图像的客观评价数据如表 2 所示。

在图 2 中,结果图像的对比度提高效果与例 1 类似,结果图像的视觉效果均有一定程度的改善。

分析表 2 的数据可知,结果图像的客观评价数据与图 2 的结果图像的观察效果是一致的。

例 3:原始图像 circuit.tif 的大小为 280×272,灰度级为 256。各种变换方法的结果图像如图 3 所示。

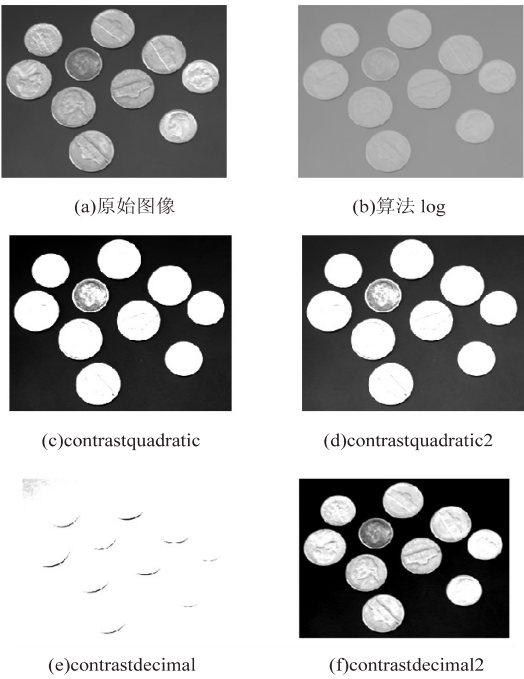


图 2 结果图像(2)

表 2 客观评价数据比较(2)

| 算法名称 | 参数 | 像素值均值 | 像素值标准差 | 局部对比度均值 | 对比度增量 |
|---------------------|----------|-----------|---------|---------|---------|
| 对数变换 | 35 | 157.729 1 | 3.862 0 | 0.071 8 | 0.224 8 |
| Contrast quadratic | 0.010 1 | 47.300 4 | 8.098 4 | 0.016 1 | 1.893 8 |
| Contrast quadratic2 | 0.078 5 | 44.446 8 | 6.748 7 | 0.135 9 | 2.085 1 |
| Contrast decimal | 2.041 5 | 109.424 9 | 7.315 9 | 0.149 6 | 1.004 2 |
| Contrast decimal2 | 15.856 0 | 155.139 6 | 6.017 2 | 0.072 1 | 0.522 9 |

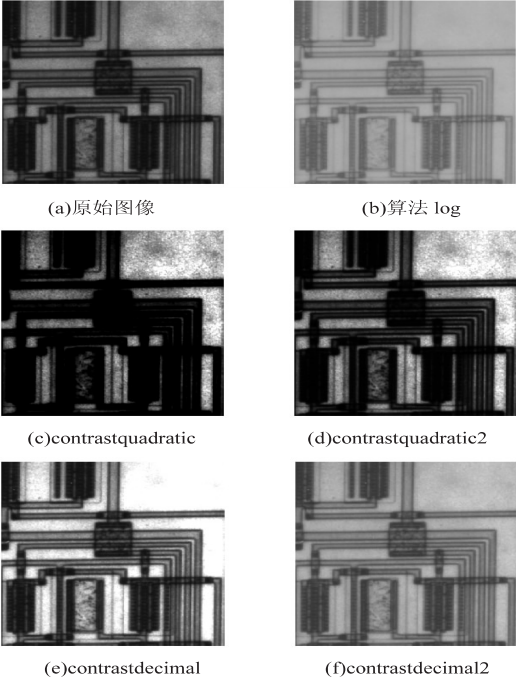


图 3 结果图像(3)

图像的像素值的均值为 76.258 2, 像素值的标准差为 6.388 9, 局部对比度的均值为 0.176 7。在图 3 中, 结果图像的对比度提高效果与例 1 类似, 结果图像的视觉效果有一定程度的改善。

5 结束语

在分析灰度图像的对数变换的基础上, 给出了基于幂函数变换的灰度图像的对比度提高算法过程。图像质量的主观评价表明, 结果图像对比度在原图的基础上有所增强且更有利于人眼观察。同时定义了局部对比度参数, 通过计算原始图像和结果图像的像素值的均值、标准差, 局部对比度的均值、对比度增量等参数, 客观地评价了灰度图像对比度提高的质量。结果表明, 文中方法能提高灰度图像的对比度, 与对数变换相比较效果显著。当图像数据越来越多时, 基于像素点的幂函数操作的复杂度也提高了, 因此还需要进一步研究提高算法的执行速度, 在分析局部对比度参数的基础上可以定义基于邻域的幂函数运算。

参考文献:

- [1] DHANALAKSHMI A M, BASKAR R. Image enhancement technique—a review [J]. International Journal of Pharmacy & Technology, 2016, 8(4): 20927–20936.
- [2] 张长江, 汪晓东, 张浩然, 等. 图像对比度增强的非线性变换法[J]. 光电工程, 2006, 33(6): 65–67.
- [3] 蒋刚毅, 黄大江, 王 旭, 等. 图像质量评价方法研究进展[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 219–226.
- [4] 王正友, 黄隆华. 基于对比度敏感度的图像质量评价方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1857–1859.
- [5] 王 涛, 高新波, 张都应. 一种基于内容的图像质量评价测度[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(6): 1002–1007.
- [6] SIM C H, RAJMAHDAN E, RANGANATH S. Detecting people in dense crowds [J]. Machine Vision and Applications, 2012, 23(2): 243–253.
- [7] 李国辉, 张龙龙, 吴成茂. 基于光照和对比度均衡的遥感图像增强[J]. 西安邮电大学学报, 2015, 20(6): 86–92.
- [8] 赵俊成, 赵亦工. 基于分段直方图的图像对比度增强算法[J]. 电子科技, 2014, 27(1): 49–52.
- [9] LING Zhigang, LIANG Yan, WANG Yaonan, et al. Adaptive extended piecewise histogram equalisation for dark image enhancement [J]. IET Image Processing, 2015, 9(11): 1012–1019.
- [10] KUO C M, YANG N C, LIU C S, et al. An effective and flexible image enhancement algorithm in compressed domain [J]. Multimedia Tools & Applications, 2016, 75(2): 1177–1200.
- [11] CHEN Yong, XIAO Xin, LIU Huanlin, et al. Dynamic color image resolution compensation under low light [J]. International Journal for Light and Electron Optics, 2015, 126(6): 603–608.
- [12] 张红梅, 张智高, 裴志利. 图像点运算在图像灰度变换中的应用与实现[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2012, 27(6): 643–645.
- [13] LU Fangfang, ZHAO Qunfei, YANG Genke. A no-reference image quality assessment approach based on steerable pyramid decomposition using natural scene statistics [J]. Neural Computing & Applications, 2015, 26(1): 77–90.
- [14] 李朝锋, 唐国凤, 吴小俊, 等. 学习相位一致特征的无参考图像质量评价[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(2): 484–488.
- [15] MITTAL A, MOORTHY A K, BOVIK A C. No-reference image quality assessment in the spatial domain [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(12): 4695–4708.
- [16] 丁绪星, 朱日宏, 李建欣. 一种基于人眼视觉特性的图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2): 190–194.
- [17] 谢立志, 李玉惠, 李 勃. 一种基于视觉特性加权的图像质量评价方法[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(8): 177–181.
- [18] 谢正祥, 王志芳, 熊兴良, 等. 基于视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价和彩色图像质量最佳化[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1454–1464.
- [19] HONG Yuzhen, REN Guoqiang, LIU Enhai. A no-reference image blurriness metric in the spatial domain [J]. International Journal for Light and Electron Optics, 2016, 127(14): 5568–5575.