

保持边缘的低照度彩色图像增强算法

王建卫

(东北林业大学 机电工程学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:为了解决低照度彩色图像的边界提取不完整的问题,依据点处理和颜色空间变换理论,提出了应用非线性函数变换方法处理 HSI 颜色模型的强度分量的彩色图像增强方法。设计了基于非线性函数变换方法进行彩色图像增强的算法过程,并分析了算法中 RGB 和 HSI 颜色模型转换中强度分量计算公式的三种形式。通过实验将文中方法与对数函数变换、经典的直方图均衡化方法和小波增强方法进行比较,实验数据表明,该算法简单、适用性广,能够有效提高自然环境下采集的彩色图像的质量,像素值不必修正可直接应用一阶和二阶的边缘检测算子提取边缘。

关键词:彩色图像;增强方法;保持边缘;非线性函数;HSI 颜色空间

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)01-0116-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.01.025

An Enhancement Algorithm for Low-illumination Color Image with Preserving Edge

WANG Jian-wei

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forest University, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to solve the problem of incomplete boundary extraction of color images under the low light intensity environment, based on theory of pixel processing and color space transformation, we propose a method of processing intensity components of color images based on HSI color model through nonlinear function transformation. The processing of color image enhancement is presented based on nonlinear function transformation and three kinds of formula are also analyzed between RGB and HSI color model. In the experiments, the proposed method is compared with the logarithmic function transformation, the HSI histogram equalization and the wavelet enhancement, which shows that it is simple and highly adaptive, and can effectively improve the quality of color images acquired in natural environment. The pixel values need no modification and directly extract the complete edge by means of edge detection operator with first or two order.

Key words: color image; enhancement method; preserving edge; nonlinear function transformation; HSI color space

0 引言

分析自然环境中采集的彩色图像已经成为获取工农业生产环境中信息的重要手段之一。当照度较低时,往往存在直接应用一阶和二阶边缘检测算子检测的边缘信息缺失而提取的目标边界不完整的问题,因此为了正确分析和理解低照度的彩色图像,进行低照度彩色图像增强方法的研究成为图像增强领域研究的重要问题之一^[1-3]。在图像增强领域中,借鉴灰度图像的增强方法并应用于转换得到的 HSI 彩色图像的某一个分量或某几个分量是当前彩色图像增强的主流方向^[4-6]。

由灰度图像的增强方法可知,基于点处理的对数

变换方法^[7-10]、直方图均衡化方法^[11]和基于小波变换的增强方法^[12]是常用的三种方法。当应用基于点处理的对数变换方法增强强度分量时,执行过程是逐个扫描像素点并作对数运算,能够拉伸强度数值的范围,但必须修正超出强度分量的最大值的数值,这样误差是不可避免的。当应用直方图均衡化方法增强强度分量时,不会产生强度分量的最大值的数值,算法的执行时间会延长,由于直方图均衡化的结果是不确定的,产生的边缘也会有细致的区别。基于模板的空域滤波算法的核心是模板操作,均值、排序等计算过程不会产生强度分量的最大值的数值,但执行时间较长,导致像素点的亮度值的误差较大。

收稿日期:2017-01-03

修回日期:2017-05-10

网络出版时间:2017-10-19

基金项目:黑龙江省教育科学技术研究项目(12533020)

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://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20171019.1559.018.html>

综上所述,依据点处理和颜色空间变换理论,提出了应用非线性函数变换方法处理基于 HSI 颜色空间的彩色图像强度分量的方法。根据彩色图像灰度化方法改进了颜色模型转换中强度分量的计算公式,给出了基于非线性函数变换方法进行彩色图像的增强算法过程,并通过实验说明了算法中参数的设置方法。

1 彩色图像增强的一般原理

1.1 基于 HSI 颜色空间的彩色图像空域增强原理

设 $f(x, y, n)$ ($0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1, n=1, 2, 3$) 是原始彩色图像(以下用 f 表示),则原始图像的第 n 分量为 $f_n(x, y)$ (以下用 f_1, f_2 和 f_3 表示);设 $F(x, y, n)$ ($0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1, n=1, 2, 3$) 是结果彩色图像(以下用 F 表示),则结果图像的第 n 分量为 $F_n(x, y)$ (以下用 F_1, F_2 和 F_3 表示),若 T 是一种定义在分量 $f_n(x, y)$ 上的空域操作,则 $F_n(x, y)$ 可以表示为:

$$F_n(x, y) = T[f_n(x, y)] \quad (1)$$

当 T 定义在 (x, y) 上时,称其为点操作。

基于 RGB 颜色空间的彩色图像增强过程可分为四个步骤^[9-12]:第一步应用 RGB 颜色空间和 HSI 颜色空间的转换公式,将基于 HSI 颜色空间的彩色图像转换为 HSI 颜色空间的彩色图像,并提取强度分量;第二步选择非线性变换函数增强强度分量;第三步是将新的强度分量合成的基于 HSI 颜色空间的彩色图像转换为新的 RGB 彩色图像;第四步是计算增强前后的 RGB 彩色图像的边缘检测。原理的核心是非线性变换函数类型的选择。

1.2 颜色模型变换方法及其修正

基于 RGB 颜色空间的彩色图像 f 可分解为红色分量 $r(x, y)$ 、绿色分量 $g(x, y)$ 和蓝色分量 $b(x, y)$ (以下用 r, g, b 表示),基于 HSI 颜色空间的彩色图像 f 可分解为色调分量 $h(x, y)$ 、饱和度分量 $s(x, y)$ 和强度分量 $i(x, y)$ (以下用 h, s, i 表示),RGB 图像与 HSI 图像变换的计算公式如下^[13]:

$$i = \frac{1}{3}(r + g + b) \quad (2)$$

$$s = 1 - \frac{3}{(r + g + b)}[\min(r, g, b)] \quad (3)$$

$$h = \begin{cases} \theta & (g \geq b) \\ 2\pi - \theta & (g < b) \end{cases} \quad (4)$$

其中,

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{[(r - g) + (r - b)]/2}{[(r - g)^2 + (r - b)(g - b)]^{1/2}} \right\}。$$

式(2)的实质是将 RGB 彩色图像中的每个像素的 r, g, b 分量值的平均值赋给 HSI 图像中对应像素的

强度分量,根据彩色图像的灰度化方法^[14],将强度分量的计算公式修正如下:

$$i = 0.229r + 0.587g + 0.114b \quad (5)$$

$$i = \max(r, g, b) \quad (6)$$

式(5)的实质是将 RGB 彩色图像中的每个像素的 r, g, b 分量值的加权平均值赋给 HSI 图像中对应像素的 i 分量;式(6)的实质是将 RGB 彩色图像中的每个像素的 r, g, b 分量值的最大值赋给 HSI 图像中对应像素的 i 分量。

RGB 图像 f 与 HSI 图像 f 的转换算法的基本原理是应用矩阵分解理论得到源图像的各个分量,根据式(2)~(4)计算得到结果图像的 h, s 和 i ,合成为结果图像 f_1 ;根据式(5)和式(6)计算得到 i_2 或 i_3 ,合成的结果图像为 f_2 或 f_3 (以下统称为 f' , 强度分量为 i)。根据 h 的范围,可求出 RGB 图像 f ^[13]。

2 基于非线性变换的 HSI 彩色图像增强算法

2.1 对数函数变换方法分析

基于非线性函数的彩色图像增强是应用非线性变换函数处理强度分量^[15],对数函数是非线性函数的基本类型之一,因此,应用对数变换增强强度分量的计算公式如下:

$$i' = \log_{\alpha} i \quad (\alpha > 0 \text{ 且 } \alpha \neq 1) \quad (7)$$

其中, i 为增强前的强度分量; i' 为增强后的强度分量。

当 i 分量的动态范围太大而失真时,可采用自然对数的复合函数实现,计算公式如下:

$$i' = c \ln(1 + i) \quad (8)$$

其中, c 是常数。一般地, $c \in [1, 2]$ 。显然, $i, i' \in [0, 1]$, 当 $i' > 1$ 时,需要修正 i' 的值。设 $i' > 1$ 的像素数为 C , 则增强后的强度分量大于 1 的百分比 R_c 的计算公式如下:

$$R_c = \frac{C}{MN} \times 100\% \quad (9)$$

基于对数变换的彩色图像增强算法的基本原理是应用式(9)为主的对数变换公式,计算新的强度分量,其中 C 的取值取决于结果图像和结果图像的平均亮度和标准差之比^[16-18]。

RGB 模型的源图像 f 的平均亮度是各个分量像素值的平均值 \bar{L}_f , 计算公式如下:

$$\bar{L}_f = \left(\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} r + \frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} g + \frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} b \right) / 3 \quad (10)$$

当平均亮度越大时,表明彩色图像越明亮。同理,

可求 RGB 模型的结果图像 F 的平均亮度 $\overline{L_F}$, 则结果图像 F 与源图像 f 的平均亮度之比 R_L 计算公式如下:

$$R_L = \overline{L_F} / \overline{L_f} \quad (11)$$

$$s_f = \sqrt{\left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (r - \overline{L_{rgb}}) + \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (g - \overline{L_{rgb}}) + \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (b - \overline{L_{rgb}}) \right] / 3} \quad (12)$$

当标准差越大时, 图像的对比度越大, 更利于人眼的观察。

同理, 可求 RGB 模型的结果图像 F 的标准差 s_F , 则结果图像 F 与源图像 f 的标准差之比 R_s 的计算公式如下:

$$R_s = s_F / s_f \quad (13)$$

2.2 基于非线性函数变换的彩色图像增强算法

由 $i' = \ln(1 + i)$ 可知, 存在部分像素点 $i' > 1$ 即过渡增强的现象, 显然简单地将其修正为 1 会导致颜色失常。由数据拟合的理论可知, 可将式(8)拟合为如下形式的复合函数:

$$i' = a_n i^n + a_{n-1} i^{n-1} + \cdots + a_0 \quad (14)$$

其中, $i, i' \in [0, 1]$, $0 \leq a_n, a_{n-1}, \cdots, a_0 \leq 1$ ($n \geq 2$) 为常数, 且 $a_n + a_{n-1} + \cdots + a_0 = 1$ 。当 $n = 2$ 时, 式(14)退化为二次函数的形式, i' 的计算公式为:

$$i' = -\alpha i^2 + (\alpha + 1)i \quad (15)$$

其中, $0 < \alpha < 1$ 。

基于非线性函数变换的彩色图像增强算法的基本原理是将 RGB 彩色图像转换为 HSI 图像, 采用非线性的计算公式增强提取的强度分量, 并转换为 RGB 图像。核心问题是增强强度分量的非线性函数, 关键点是计算得到的增强后的强度分量范围为 $[0, 1]$ 。下面根据式(15)给出 Color_Enhance 算法的具体步骤:

$F = \text{Color_Enhance}(f)$

Input: 源图像 f

Output: 结果图像 F

Step1: 初始化。设置参数 α 的初值 V_1 、终值 V_2 和步长 V_{step} , R_C 的阈值 th_{R_C} , R_L 的阈值 th_{R_L} 和 R_s 的阈值 th_{R_s} ;

Step2: 读入 RGB 源图像 f ;

Step3: 根据式(2)~(4), 计算 f 的 HSI 图像的色调分量 h 、饱和度分量 s 和强度分量 i ;

Step4: 计算 $i' = -\alpha i^2 + (\alpha + 1)i$;

Step5: 将色调分量 h 、饱和度分量 s 和强度分量 i' 合成为 HSI 图像 f' , 并转换为 RGB 图像 F ;

Step6: 根据式(9)、(11)和(13)计算 F 的 R_C 、 R_L 和 R_s ;

Step7: 若 $R_L < \text{th}_{R_L}$ 且 $R_s < \text{th}_{R_s}$, 转 Step8; 否则转 Step9;

Step8: $\alpha + V_{\text{step}} \rightarrow \alpha$, 如果 $\alpha = V_2$, 转 Step9; 否则转

Step9; 输出结果图像 F 。

注意: 在 Step3 中将 f 转换为 HSI 图像时, 强度分量 i 可通过计算式(2)、(5)或(6)得到。参数初始化的取值决定算法的执行时间。实验中, 将 α 的初值 V_1 设置为 0.1, 终值 V_2 设置为 1, 步长 V_{step} 设置为 0.1, 由增强的质量要求设置相应参数的阈值。

2.3 Color_Enhance 算法的改进

为了有效增强强度值较低的区域和抑制强度值较高的区域, 有效改善视觉效果, 修正 $i' = -\alpha i^2 + (\alpha + 1)i$ 为一般形式, 计算公式如下:

$$i' = \beta i_h + (1 - \beta) i_l \quad (16)$$

$$i_h = -\alpha i^2 + (\alpha + 1)i \quad (17)$$

$$i_l = \alpha i^2 + (1 - \alpha)i \quad (18)$$

一般地, $\beta \in (0, 1)$, $\alpha \in (0, 1)$ 。

根据式(16)给出算法 2: Color_Enhance_Improved 算法过程, 具体步骤如下:

$F = \text{Color_Enhance_Improved}(f)$

Input: 源图像 f

Output: 结果图像 F

Step1: 初始化。设置参数 α 和 β 的初值 V_1 、终值 V_2 和步长 V_{step} , R_C 的阈值 th_{R_C} , R_L 的阈值 th_{R_L} 和 R_s 的阈值 th_{R_s} ;

Step2: 读入 RGB 源图像 f ;

Step3: 将 f 转换为 HSI 图像, 并提取色调分量 h 、饱和度分量 s 和强度分量 i ;

Step4: 根据式(17)计算 $i_h = -\alpha i^2 + (\alpha + 1)i$;

Step5: 根据式(18)计算 $i_l = \alpha i^2 + (1 - \alpha)i$;

Step6: 根据式(16)计算 $i' = \beta i_h + (1 - \beta) i_l$;

Step7: 将色调分量 h 、饱和度分量 s 和强度分量 i' 合成为 HSI 图像 f' , 并转换为 RGB 图像 F ;

Step8: 根据式(9)、(11)和(13)计算 F 的 R_C 、 R_L 和 R_s ;

Step9: 若 $R_L < \text{th}_{R_L}$ 且 $R_s < \text{th}_{R_s}$, 转 Step10; 否则转 Step11;

Step10: $\alpha + V_{\text{step}} \rightarrow \alpha$, 如果 $\alpha = V_2$, 转 Step11; 否则转 Step 4;

Step11: $\beta + V_{\text{step}} \rightarrow \beta$, 如果 $\beta = V_2$, 转 Step12; 否则将 $\alpha = V_1$, 转 Step4;

Step12: 输出结果图像 F 。

3 实验结果与分析

为研究问题的需要,在 Windows XP 系统 MATLAB 2012a 环境下编程实现了 Color_Enhance 算法和 Color_Enhance_Improved 算法。

例 1:采用 525×1 024 的像素深度为 24 bit 的彩色图像(tu1. jpg)为参考图像,像素深度为 24 bit,熵为 7. 834 3,归一化的平均亮度为 0. 127 1,归一化的标准差为 0. 310 4。其中基于 HSI 颜色模型的彩色图像强度分量用式(2)计算得到,小波增强过程中小波类型为 Sym4,对数变换的系数初值为 1. 1、终值为 2. 0、步长为 0. 1,算法 1 和算法 2 的系数初值为 0. 1、终值为 1. 0、步长为 0. 1。部分结果图像和相应的灰度图像的边缘检测结果如图 1 所示。结果图像的客观评价数据如表 1 所示。

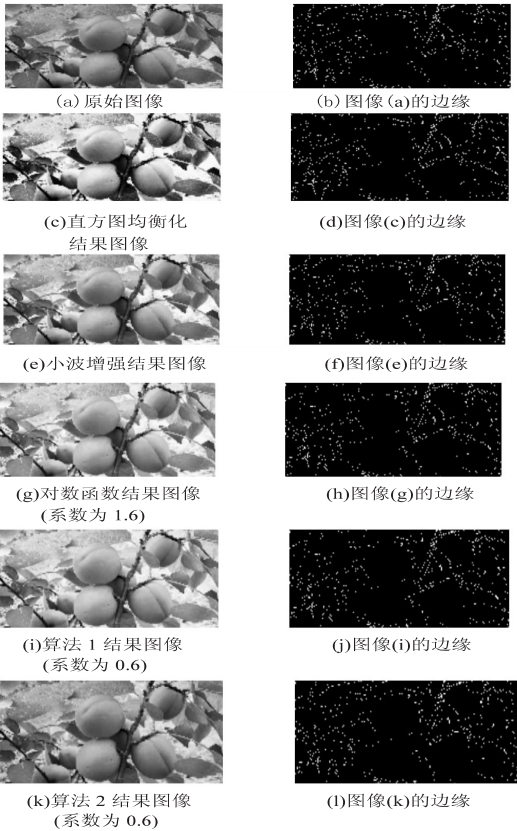


图 1 彩色图像的增强算法及其边缘检测结果图

由图像可知,与直方图均衡化方法和小波增强方法相比,基于像素的对数变换的增强图像视觉效果较好、边缘检测的信息较完整,算法 1 和 2(系数为 0. 6)的增强图像的边缘检测的细节丰富,有利于进一步的图像分析和理解,算法 1 的结果图像的亮度较大,而算法 2 的结果图像的视觉效果优于算法 1。

在表 1 中,数据 c 和 R_c 反映了结果图像的强度分量值大于 1 的像素数和在总像素中所占的比例。小波增强的结果图像的强度分量值大于 1 的像素数较少,当对数变换的系数大于 1. 5 且逐渐增大时,结果图像

的强度分量值大于 1 的像素数增多了,而算法 1 和算法 2 不存在强度分量值大于 1 的像素数。当算法 1 的系数为 0. 6 时,即对源图像(tu1. jpg)应用式(2)计算强度分量 i ,经计算可知 $1 - \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N i \approx 0. 6$,与直方图均衡化相比较, L_F 和 S_F 的数值相近。可见,在应用算法 1 增强 HSI 图像时,式(15)系数依赖于强度分量 i 的均值 \bar{i} ,在算法初始化步骤中将系数的初值设置为 $1 - \bar{i}$,并根据增强后的结果图像的亮度和标准差参数和边缘检测的信息是否完整修改系数得到新的结果图像。

表 1 不同增强方法的执行结果数据比较(源图像 1)

增强方法	系数	L_F	R_L	S_F	R_S
均衡化	无	0. 157 6	1. 239 9	0. 351 1	1. 131 6
小波增强	Sym4	0. 151 0	1. 187 4	0. 337 9	1. 089 0
对数变换	1. 1	0. 115 9	0. 911 7	0. 295 5	0. 952 3
对数变换	1. 2	0. 126 4	0. 994 5	0. 308 6	0. 994 8
对数变换	1. 3	0. 137 0	1. 077 4	0. 321 2	1. 035 3
对数变换	1. 4	0. 147 1	1. 15 6 8	0. 332 8	1. 072 7
对数变换	1. 5	0. 225 5	1. 230 4	0. 343 1	1. 105 9
对数变换	1. 6	0. 165 1	1. 298 2	0. 352 2	1. 135 4
对数变换	1. 7	0. 172 8	1. 359 2	0. 360 2	1. 161 1
对数变换	1. 8	0. 179 7	1. 413 5	0. 367 0	1. 183 1
对数变换	1. 9	0. 185 9	1. 461 9	0. 373 0	1. 202 2
对数变换	2. 0	0. 191 4	1. 505 4	0. 378 1	1. 218 8
算法 1	0. 1	0. 134 4	1. 057 1	0. 318 8	1. 027 5
算法 1	0. 2	0. 141 0	1. 109 2	0. 326 3	1. 051 8
算法 1	0. 3	0. 147 5	1. 159 7	0. 333 4	1. 074 8
算法 1	0. 4	0. 153 7	1. 208 5	0. 340 2	1. 096 5
算法 1	0. 5	0. 159 7	1. 255 7	0. 346 5	1. 117 0
算法 1	0. 6	0. 165 4	1. 301 2	0. 352 5	1. 136 4
算法 1	0. 7	0. 171 0	1. 344 6	0. 358 1	1. 154 4
算法 1	0. 8	0. 176 2	1. 385 6	0. 363 3	1. 171 1
算法 1	0. 9	0. 181 1	1. 424 2	0. 368 1	1. 186 5
算法 1	1. 0	0. 185 7	1. 460 7	0. 372 5	1. 200 8
算法 2	0. 1	0. 122 2	0. 961 0	0. 304 3	0. 980 8
算法 2	0. 2	0. 119 4	0. 939 5	0. 301 0	0. 970 1
算法 2	0. 3	0. 119 4	0. 939 5	0. 301 0	0. 970 1
算法 2	0. 4	0. 122 2	0. 955 5	0. 268 4	0. 977 8
算法 2	0. 5	0. 127 6	1. 003 5	0. 310 8	1. 001 9
算法 2	0. 6	0. 135 8	1. 067 7	0. 320 3	1. 032 5
算法 2	0. 7	0. 146 2	1. 149 8	0. 332 1	1. 070 3
算法 2	0. 8	0. 158 5	1. 246 4	0. 345 3	1. 113 0
算法 2	0. 9	0. 172 0	1. 353 0	0. 359 2	1. 157 8
算法 2	1. 0	0. 185 7	1. 460 7	0. 375 2	1. 200 8

例 2:采用 2 000×1 312 的像素深度为 24 bit 的彩色图像(tu2. jpg)为参考图像,像素深度为 24 bit,熵为 6. 814 3,归一化平均亮度为 0. 061 6,归一化的标准差为 0. 209 9,强度均值为 0. 185 6,系数为 $1 - 0. 185 6 =$

0.744 6。当采用式(2)、(5)和(6)计算强度分量时,文中算法1的结果图像如图3所示,结果图像的客观评价数据如表2所示。



图2 算法1和算法2结果图像的比较(源图像2)

由图2可见,同等条件下,式(6)的结果图像亮度较大,式(5)对应的系数0.7的结果图像视觉效果一致,能够满足后续图像分析和理解的需要。

表2 不同增强方法的执行结果数据比较(源图像2)

公式	方法	系数	L_F	R_L	S_F	R_S
(2)	算法1	0.800 0	0.095 6	1.551 0	0.259 8	1.237 6
(5)	算法1	0.700 0	0.100 1	1.623 7	0.265 3	1.263 7
(5)	算法1	0.800 0	0.104 6	1.697 3	0.271 1	1.291 3
(6)	算法1	0.700 0	0.107 1	1.737 9	0.273 9	1.304 6
(6)	算法1	0.800 0	0.111 9	1.815 6	0.279 8	1.332 9
(2)	算法2	0.800 0	0.082 1	1.332 4	0.241 3	1.149 1
(5)	算法2	0.700 0	0.081 0	1.314 0	0.239 3	1.139 7
(5)	算法2	0.800 0	0.090 1	1.461 7	0.252 0	1.200 4
(6)	算法2	0.700 0	0.086 9	1.410 3	0.247 3	1.178 1
(6)	算法2	0.800 0	0.096 5	1.566 4	0.260 3	1.240 0

由表2可知,当应用式(5)计算强度分量,且系数为0.7时,结果图像的熵为7.366 1, R_L 和 R_S 的数值分别为1.623 7和1.263 7,由图3可知,图像增强效果良好。

例3:源图像(tu3.jpg)的图像大小为1 312×2 000,熵为6.971 2,亮度均值为0.075 7,标准差为0.231 6,强度均值为0.227 9,系数为1-0.227 9=0.772 1。当采用式(2)、(5)和(6)计算强度分量时,算法1和算法2的结果图像如图3所示,结果图像的客观评价数据如表3所示。

由图3可见,同等条件下,式(6)的结果图像亮度较大,式(5)对应的系数0.7的结果图像视觉效果一致,能够满足后续图像分析和理解的需要。

由表3可知,当应用式(5)计算强度分量,且系数

为0.8时,结果图像的熵为7.448 1, R_L 和 R_S 的数值分别为1.509 4和1.217 7,由图5可知,图像增强效果良好。

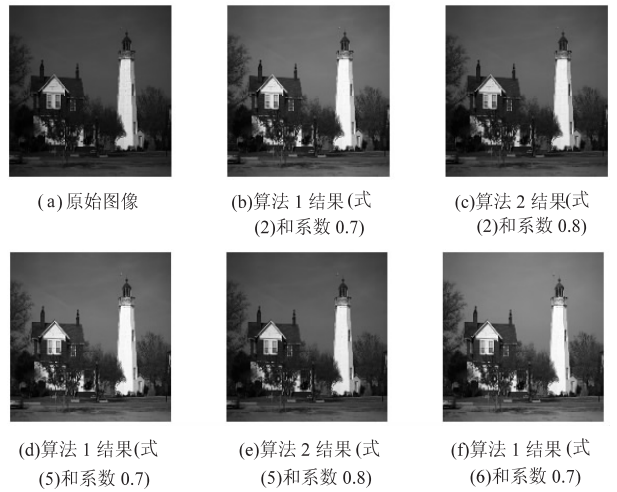


图3 算法1和算法2结果图像的比较(源图像3)

表3 不同增强方法的执行结果数据比较(源图像3)

公式	方法	系数	L_F	R_L	S_F	R_S
(2)	算法1	0.800 0	0.115 7	1.528 9	0.284 7	1.229 6
(5)	算法1	0.700 0	0.109 3	1.444 4	0.275 9	1.191 6
(5)	算法1	0.800 0	0.114 2	1.509 4	0.282 0	1.217 7
(6)	算法1	0.700 0	0.129 0	1.704 4	0.300 2	1.296 4
(6)	算法1	0.800 0	0.134 5	1.777 6	0.306 5	1.323 4
(2)	算法2	0.800 0	0.099 8	1.318 8	0.264 9	1.143 8
(5)	算法2	0.700 0	0.088 7	1.171 7	0.249 1	1.075 6
(5)	算法2	0.800 0	0.098 5	1.301 6	0.262 2	1.132 3
(6)	算法2	0.700 0	0.105 6	1.395 8	0.272 4	1.176 3
(6)	算法2	0.800 0	0.116 7	1.542 5	0.286 0	1.234 8

4 结束语

为了解决自然环境下获取的彩色图像进行分析时存在提取的目标边界不完整的问题,提出将基于点处理的非线性函数变换方法应用于基于HSI模型的彩色图像增强的一般过程,设计了彩色图像的增强算法过程。通过大量的实验数据表明,当结果图像与源图像的平均亮度之比 R_L 为1.5、标准差之比 R_S 为1.2时,应用文中算法能获得良好的边缘检测信息完整的增强图像。如果将算法的系数设置为1- \bar{i} ,由于强度计算公式的不同,直接应用文中算法增强质量不同。在后续的研究中,为了提高算法的执行速度,应进行算法系数设置的研究。

参考文献:

[1] WU S Q, HU Y, YU W Y, et al. A novel color-image enhancement approach for night-vision images[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 556-562:4750-4754.

- 066166.
- [14] SOFFER S N, VÁZQUEZ A. Network clustering coefficient without degree – correlation biases [J]. *Physical Review E*, 2005, 71(2):057101.
- [15] SERRANO M, BOGUÑÁ M. Clustering in complex networks. I. General formalism [J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2006, 74(5):056114.
- [16] NEWMAN M E J. Random graphs with clustering [J]. *Physical Review Letters*, 2009, 103:058701.
- [17] GLEESON J P, MELNIK S, HACKETT A. How clustering affects the bond percolation threshold in complex networks [J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2010, 81:066114.
- [18] BOLLOBÁS B. *Random graphs* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [19] ANGELES S M, BOGUÑÁ M. Tuning clustering in random networks with arbitrary degree distributions [J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2005, 72:036133.
- [20] BANSAL S, KHANDELWAL S, MEYERS L A. Exploring biological network structure with clustered random networks [J]. *Bmc Bioinformatics*, 2009, 10:405.
- [21] MAHADEVAN P, KRIOUKOV D, FALL K, et al. Systematic topology analysis and generation using degree correlations [J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2006, 36(4):135–146.
- [22] GJOKA M, TILLMAN B, MARKOPOULOU A. Construction of simple graphs with a target joint degree matrix and beyond [C]//IEEE conference on computer communications. [s. l.]: IEEE, 2015.
- [23] 尚可可, 许可可. 基于置乱算法的复杂网络零模型构造及其应用 [J]. *电子科技大学学报*, 2014, 43(1):7–20.
- [24] 陈 泉, 杨建梅, 曾进群. 零模型及其在复杂网络研究中的应用 [J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2013, 10(1):8–17.
- [25] 李 欢, 卢 昱, 郭俊霞. 基于 GPU 的大尺度网络零模型分组生成并行算法 [J]. *计算机工程与设计*, 2016, 37(1):93–99.
- [26] PARK J, NEWMAN M E J. Statistical mechanics of networks [J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2004, 70(2):066117.
- [27] GOFFE W L, FERRIER G D, ROGERS J. Global optimization of statistical functions with simulated annealing [J]. *Journal of Econometrics*, 1994, 60(1–2):65–99.

(上接第 120 页)

- [2] 王建卫. 基于对比度增强的彩色图像边缘检测算法 [J]. *计算机技术与发展*, 2014, 24(2):79–83.
- [3] 赵华夏, 禹 晶, 肖创柏. 基于目的性优化及改进直方图均衡化的夜间彩色图像增强 [J]. *计算机研究与发展*, 2015, 52(6):1424–1430.
- [4] 董 蓉, 李 勃, 徐 晨. 基于彩色对数图像处理的运动阴影检测方法 [J]. *计算机工程与设计*, 2016, 37(8):2155–2159.
- [5] RAJI R, MISHRA D, NAIR M S. A novel texture based automated HSItoqram specification for color image enhancement using image fusion [J]. *Procedia Computer Science*, 2015, 46:1501–1509.
- [6] RAMAKRISHNAN M, BASHA M S. Color image enhancement based on Daubechies wavelet and HSI analysis [J]. *International Journal of Computer Applications*, 2012, 47(13):8–11.
- [7] PATRASCU V, BUZULOIU V. Color image enhancement in the framework of logarithmic models [J]. *Studies in Fuzziness & Soft Computing*, 2014, 122:219–237.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 王小元, 张红英, 吴亚东, 等. 基于视觉感知的低照度图像增强算法 [J]. *计算机工程*, 2016, 42(8):249–254.
- [11] 田小平, 乔 东, 吴成茂. 基于双直方图均衡化的彩色图像增强 [J]. *西安邮电大学学报*, 2015, 20(2):58–63.
- [12] 李庆忠, 刘 清. 基于小波变换的低照度图像自适应增强算法 [J]. *中国激光*, 2015, 42(2):272–278.
- [13] 章毓晋. *图像工程(上):图像处理* [M]. 第 3 版. 北京:清华大学出版社, 2013.
- [14] 刘春晓, 朱臻阳, 伍 敏, 等. 基于主色检测与灰度传播的彩色图像灰度化方法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2016, 28(3):433–442.
- [15] 高 昆, 程新满, 吕丽丽, 等. 结合人眼视觉综合感知差与 r-g 色域峰值偏差的彩色图像客观评价方法 [J]. *北京理工大学学报*, 2012, 32(3):286–290.
- [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] 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.
- [18] 南 栋, 毕笃彦, 查宇飞, 等. 基于参数估计的无参考型图像质量评价算法 [J]. *电子与信息学报*, 2013, 35(9):2066–2072.