

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2016.03.011

基于多尺度 Retinex 算法的彩色雾霾图像增强研究

张雅媛

(武汉大学 印刷与包装系, 湖北 武汉 430079)

摘要: 介绍了基于颜色恒常性理论的 Retinex 模型, 并重点分析了色彩恢复多尺度 Retinex (MSRCR) 算法的原理和实现方法。为验证基于 Retinex 理论的算法对图像增强具有良好的效果, 以雾霾天气采集到的 3 幅彩色道路监控图像为实验对象, 在 MATLAB7.0 软件中, 利用 MSRCR 算法、直方图均衡化 2 种图像增强方法, 对实验图像进行去雾霾处理, 并通过主观评价、图像信息熵、亮度通道直方图来比较和分析 2 种算法的图像增强效果。研究结果表明: 采用 MSRCR 算法可以还原出细节更丰富、辨析度更高的画面, 且处理后的图像具有更大的信息熵, 图像色彩也更接近原始图像。

关键词: 图像增强; Retinex 模型; MSRCR 算法; 直方图均衡化

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2016)03-0060-06

Research of Haze Color Image Enhancement Based on Multi-Scale Retinex

ZHANG Yayuan

(School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: The Retinex model based on the theory of color constancy was introduced, and the principles and implementation method of MSRCR were mainly analyzed. In order to verify that the algorithm based on Retinex theory performed well in the field of image enhancement, color road monitoring images collected in haze weather were regarded as experiment objects. MSRCR and traditional histogram equalization were respectively applied to process haze image in Matlab7.0. Subjective evaluation, image information entropy and luminance channel histogram were used to compare and analyze the results of these two algorithms in image enhancement. The results showed that the images processed by MSRCR restored richer details, higher image entropy than those of traditional histogram equalization and color of image after processing was closer to original one.

Key words: image enhancement; Retinex model; MSRCR; histogram equalization

0 引言

机器视觉技术在交通领域发挥着重要作用, 其应用也越来越广泛。机器视觉技术是利用计算机视觉技术和数字图像处理方法, 通过分析交通图像序列, 以对车辆、行人等交通目标的运动进行检测、定

位、识别和跟踪, 并对目标的交通行为进行分析、理解和判断, 从而完成各种交通流数据的采集、交通事件的检测等工作, 并据此进行相应处理的一种技术。然而, 因受到极端恶劣天气的影响, 机器视觉技术所采集到的数字图像往往会出现画面不清晰、辨析程度低等缺陷, 给机器后续的认识检测工作带

收稿日期: 2015-12-25

作者简介: 张雅媛(1992-), 女, 浙江台州人, 武汉大学硕士生, 主要研究方向为色彩信号处理,

E-mail: zhangyayuan1227@163.com

来较大困难。因此,有必要对采集到的这类数字图像的视觉效果进行改善。数字图像处理中的图像增强技术即可改善这些辨析程度较低的图片,以方便后续识别检测工作的顺利进行。

图像增强的实质就是对图像中的有用信息进行增强,同时舍弃图像中的无用信息。其主要目的是改善图像的视觉效果,结合给定图像的应用场合,有目的地强调图像的整体性或局部特征,将原本不清晰的图像变得清晰,或强调突出人们感兴趣的局部特征,扩大图像中不同物体特征之间的差别,抑制人们不感兴趣或不需要的特征,从而改善图像的质量,丰富图像的信息量,加强图像的认识效果,满足某些特殊分析的需要^[1-5]。传统的图像增强方法是直方图均衡化,其通过对图像进行非线性拉伸,得到一幅灰度直方图均匀分布的新图像,这样可以使图像动态范围增大,对比度得到扩展。该方法具有算法简单、处理速度快等优点,但对于一些特殊的场景亮度(如场景亮度差异较大或曝光不足/大气强散射等造成的灰度较小等情况)图像,直方图均衡化的处理效果并不能满足需要。近年来,一种基于Retinex算法的图像增强技术,由于其不受光照的影响且能较好地还原物体本来的面貌,因而得到了人们的广泛关注^[6]。

结合当前在我国大部分地区,尤其是一、二线城市,频繁出现雾霾天气的实际情况,本文以雾霾天气采集到的彩色道路监控图像为实验对象,展开基于多尺度Retinex算法的彩色图像去雾霾研究,以期为机器检测工作提供一定的理论参考。

1 Retinex 理论概述

Retinex理论是一种建立在科学实验和科学分析基础上的基于人类视觉系统的图像增强理论。该算法的基本原理模型是由美国物理学家Edwin Land于1971年提出的色彩理论^[7]。Retinex理论主要包括如下两个方面的内容:

1) 物体的颜色是由物体对长波、中波和短波光线的反射能力来决定的,而不是由反射光强度的绝对值来决定的。

2) 物体的颜色不受光照非均匀性的影响,而具有一致性。根据Retinex理论可知,其基本思想就是在原始图像中去除或降低亮度图像的影响,尽可能保留图像中物体本质的反射性质,通过反射性质的不同来对原图像中的像素灰度值进行校正。Retinex理论示意如图1所示。

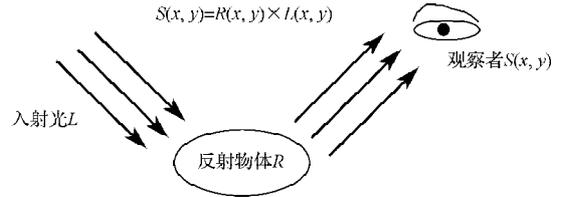


图1 Retinex理论示意

Fig. 1 Diagram of Retinex theory

对于观察图像 S 中的每一点 (x, y) ,用公式可以表示为

$$S(x, y) = R(x, y) \times L(x, y). \quad (1)$$

式中: $S(x, y)$ 为被观察者的眼睛或相机接受后形成的物体图像; $L(x, y)$ 为入射光图像,决定一幅图像中像素能够达到的动态范围; $R(x, y)$ 为反射物体图像,决定图像的内在性质。

因此,根据Retinex理论,只要求得 $L(x, y)$,就可以通过在图像 $S(x, y)$ 去除入射光 L 的性质,得到物体原本该有的样子^[8-9]。

2 基于Retinex理论的算法

随着Retinex理论的诞生,各种各样的Retinex算法不断涌现出来。目前,主流的Retinex算法是基于中心环绕方式求取算法,其核心思想是在待处理图像中每个像素点利用周边的元素来估计它的反射光线,也就是利用环绕函数来估计该点的反射光。常见的基于中心环绕方式算法有单尺度Retinex算法(single scale retinex, SSR)、多尺度Retinex算法(multi scale retinex, MSR)、色彩恢复多尺度Retinex算法(multi scale retinex color restoration, MSRCR)^[10-11]。其中,色彩恢复多尺度Retinex算法是对单尺度及多尺度Retinex算法作出修正的一种算法,本文将主要对MSRCR算法做重点阐述。

单尺度Retinex算法的最大缺陷是不能同时提供丰富的动态范围压缩和颜色保真,经低尺度SSR算法增强后的图像会有明显的光晕现象,而经高尺度SSR算法增强后的图像虽然无光晕,但是动态范围压缩效果不理想。为了更好地实现动态范围压缩和颜色恒常,文献[11]中提出了多尺度Retinex算法,它具备SSR低、中、高3个尺度的特点。然而,在MSR算法的增强过程中,图像可能会因为增加了噪声而造成图像中的局部区域色彩失真,使得物体的真正颜色效果不能很好地被显现出来,从而影响整体视觉效果。为了改善这一问题,引入了色彩恢复多尺度Retinex算法。该算法色彩恢复因子 C 的表达式为

$$C_i = f \left(\frac{I_i(x,y)}{\sum_{i=1}^N I_i(x,y)} \right) \quad (2)$$

式中： C_i 为第*i*个通道的色彩恢复因子，其作用是调节3个通道颜色的比例； $I_i(x,y)$ 为原始图像在第*i*颜色通道的分布； N 为颜色通道总数。

MSRCR是对MSR算法的改进，其算法公式为

$$r_i(x,y) = C_i \cdot \sum_{n=1}^N W_n \{ \lg S_i(x,y) - \lg [F_n(x,y) * S_i(x,y)] \} \quad (3)$$

式中： $r_i(x,y)$ 为Retinex算法的第*i*通道的输出数据；*表示卷积； N 为使用尺度个数，本文主要针对RGB彩色图像，因此， N 取为3； W_n 为尺度的权重因子， $W_1=W_2=W_3=1/3$ ； $F(x,y)$ 为环绕函数。

文献[11]中提出利用高斯函数作为环绕函数，本文采用的高斯函数公式为：

$$F(x,y) = 3e^{-\frac{r^2}{d^2}} \quad (4)$$

$$r^2 = \left(x - \frac{N_1}{2} \right)^2 + \left(y - \frac{M_1}{2} \right)^2 \quad (5)$$

式中： N_1, M_1 分别为图像的长和宽； d 为高斯环绕的尺度，相当于高斯模板的半径。

d 值越小，图像像素点受到周围像素的影响越大，细节增强效果越好； d 值越大，图像整体颜色更为自然，颜色恢复更好，但是细节突出不够^[11]。本研究中， d 分别取100, 200, 300。

$F(x,y)$ 高斯函数是低通函数，所以通过 $F(x,y)$ 卷积估算的亮度图像对应于原始图像的低频部分，再从原始图像中减去低频部分，得到的反射图像更多的是原始图像中的高频部分，对应于边缘信息。由于人眼对边缘处的高频信息比较敏感，所以处理后的图像能很好地实现边缘增强。

3 彩色图像去雾实验及分析

为评价MSRCR算法的有效性，本文选取3幅在雾霾天气采集到的彩色道路监控图像，3幅图像的共同特点是光照过强，画面整体偏亮，对比度低，阴暗处细节缺失。本实验在MATLAB7.0软件中进行，利用MSRCR算法对3幅图像进行去雾霾处理，最后利用主客观评价方法，将处理结果与使用传统直方图均衡化之后的增强效果进行比较分析。

MSRCR算法去雾实验的具体实现过程如下：

1) 读入受到雾霾影响的3幅彩色道路监控数字图像，对每一幅图像按照步骤2)~7)进行处理。

2) 将彩色图像分成R、G、B3个通道，并将每一个通道的数据转换成double类型，对每一个通道都按照步骤3)~7)进行操作。下面以R通道为例进行阐述。

3) 3个不同的高斯环绕尺度($d=100, 200, 300$)对应得到3个不同的高斯滤波函数，将R通道图像分别与这3个高斯滤波函数进行卷积运算，得到的3幅图像均为低频部分，也就是入射光图像 $L(x,y)$ 。

4) 在对数域中，用原图像减去入射光图像，得到3幅高频增强图像，也就是反射物体图像 $R(x,y)$ 。

5) 对上述3次增强得到的图像取均值，作为最终增强图像。

6) 按照公式(2)计算色彩恢复因子 C ，将增强后的R分量乘以色彩恢复因子，并对其取反对数。

7) 对增强后的R分量进行灰度拉伸。

3幅图像的2种去雾算法处理结果比较，如图2~4所示。



a) 原图



b) 直方图均衡化



c) MSRCR 算法

图2 图像1去雾算法的结果比较

Fig. 2 Comparison result of two algorithms in haze enhancement of Image one



a) 原图



b) 直方图均衡化



c) MSRCR 算法

图3 图像2去雾算法的结果比较

Fig. 3 Comparison results of two algorithms in haze enhancement of image two



a) 原图



b) 直方图均衡化



c) MSRCR 算法

图4 图像3去雾算法的结果比较

Fig. 4 Comparison results of two algorithms in haze enhancement of Image three

从图2~4可以看出, MSRCR算法处理之后的图像比原图像含有更丰富的细节, 原图中被雾霾挡住的物体经图像增强后部分被还原了出来, 尤其是在图4中可以明显看到, 经MSRCR算法处理后, 原图中标志范围看不清的3辆车都被还原了出来, 而直方图均衡化只能还原2辆车, 最左侧的车依然看不到。从色彩还原的角度进行评价, 直方图均衡化得到的图像颜色失真较大, 尤其在图2中, 黑色轿车后面的2个红色灯经直方图均衡化后显得更红了, 车身原本的黑色也加深了, 总体来看, 直方图均衡化加大了图像的对对比度, 同时暗区的亮度并没有得到提升, 反而更暗, 特别是体现在画面的左下角及右下角。此外, 直方图均衡化后画面质量相较于MSRCR算法处理的效果要差, 具体体现在画面有明显的像素处理痕迹, 天空部分出现了明显的亮度区域。经MSRCR算法处理的图像, 其画面的颜色得到了更真实的还原, 画面解析度也更高。

除了上述主观评价外, 本文还通过信息熵和直方图作进一步的客观评价。信息熵是对图像信息丰富程度的度量, 信息熵越大, 图像所包含的信息越多^[1]。信息熵的公式为

$$E = -\sum_{i=1}^M p(x_i) \lg p(x_i) \quad (6)$$

式中: E 为图像的信息熵; M 为图像的像素总数; $p(x)$ 为某个灰度在该图像中出现的概率。

经计算, 得到3幅图像处理前后的信息熵, 结果如表1所示, 其信息熵对比条形图如图5所示, 其处理前后图像亮度通道的直方图对比见图6~8。

表1 3幅图像处理前后的信息熵

Table 1 The image entropy of pre-post processing

实验对象	原图	直方图均衡化	MSRCR算法
图像1	6.096 7	5.723 4	7.106 8
图像2	6.703 3	5.978 2	7.410 2
图像3	6.924 2	5.984 5	7.309 9

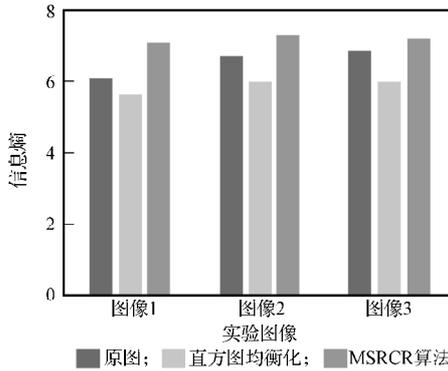


图5 3幅图像处理前后算法的信息熵对比

Fig. 5 Entropy comparison of pre-post processing image

表1记录了原图的图像信息熵以及经直方图均衡化与MSRCR算法处理得到的图像信息熵,并通过图5所示的对比柱形图,可直观地看出每一组图像处理前后的信息熵大小,依次为:MSRCR算法>原图>直方图均衡化,这表明利用MSRCR算法对图像进行去雾处理,可以获得细节更加丰富的画面。

考虑到人眼对亮度信息比较敏感,因此,本实验在评判图像增强效果时,更加关注亮度通道的还原程度。本实验将彩色图像RGB转换到HSV通道,并针对其中的亮度通道V进行图像直方图的绘制,从而进一步评价MSRCR算法的性能。

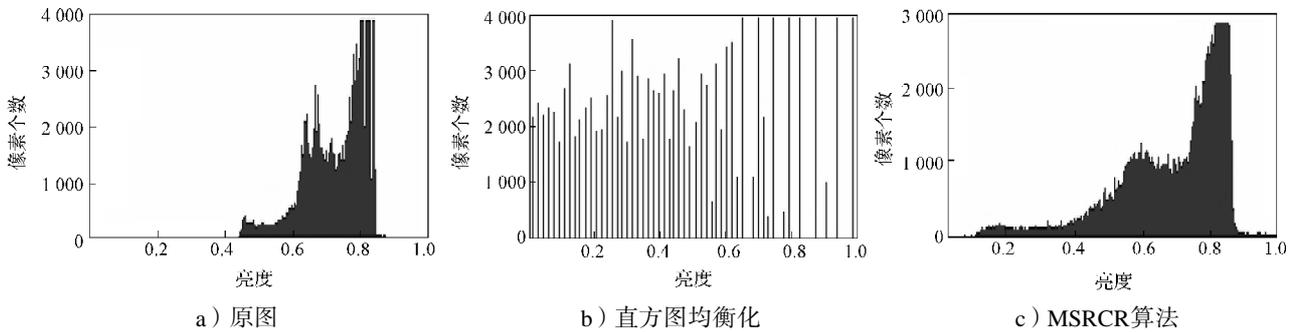


图6 图像1处理前后图像亮度通道的直方图对比

Fig. 6 Histogram comparison of luminance channel of pre-post processing image one

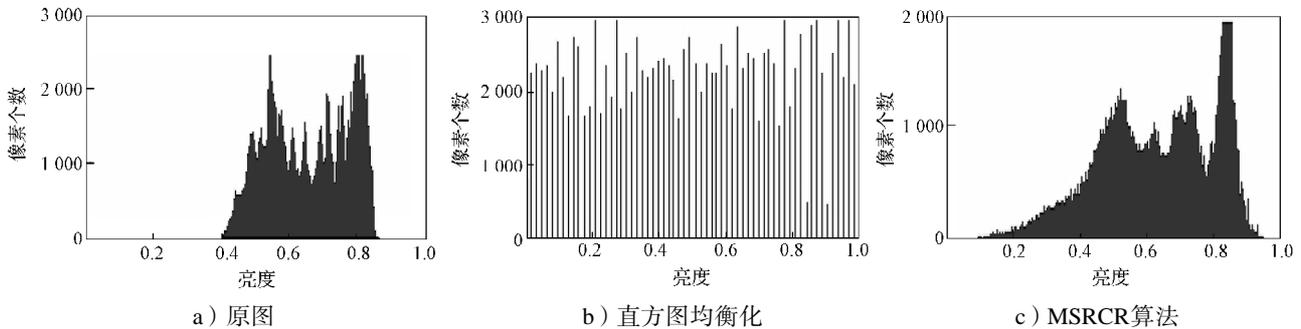


图7 图像2处理前后图像亮度通道的直方图对比

Fig. 7 Histogram comparison of luminance channel of pre-post processing image two

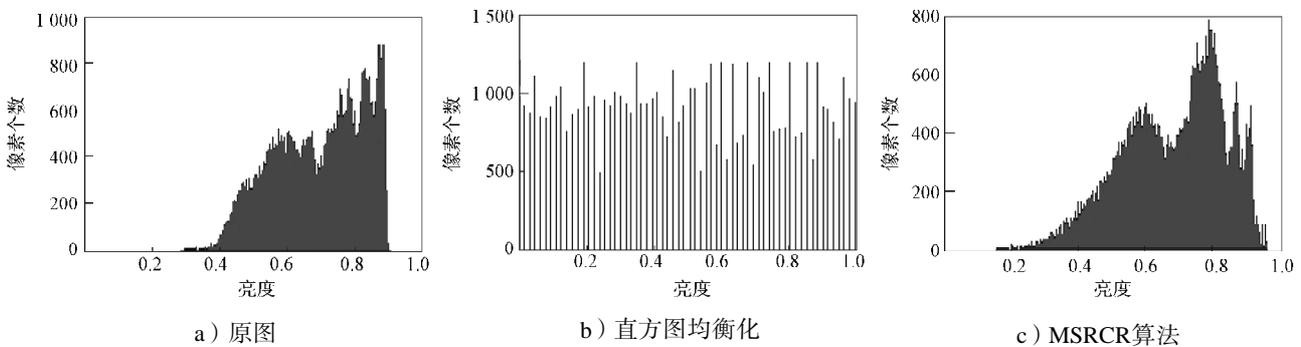


图8 图像3处理前后图像亮度通道的直方图对比

Fig. 8 Histogram comparison of luminance channel of pre-post processing image three

由图6~8可以看出,图b、c对应的直方图分布均比图a的直方图分布更宽,这说明这两种图像去雾

算法都可以提高图像的对比度。但是,图b的直方图中,横轴接近0的灰度值分布明显高于图c,这一

特点反映在直方图均衡化处理后的图像中,即为画面中有明显的过暗区域。

4 结论

以雾霾天气采集到的3幅彩色道路监控图像为实验对象,在MATLAB7.0软件中,采用MSRCR算法、直方图均衡化2种方法,对实验图像进行去雾霾处理,并对2种算法处理结果进行信息熵的计算、亮度通道直方图的绘制以及对图像做出主观评价。研究表明:直方图均衡化虽然可以很好地提高图像对比度,但会出现过增强的现象,导致画面不真实;而MSRCR算法可以还原出细节更丰富、辨析度更高的画面。研究结果验证了MSRCR算法相较于传统的直方图均衡化算法具有更好的图像增强性能,其图像增强效果更好。

参考文献:

- [1] CONZALEZ Rafael C, WOODS Richard E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 3版. 北京: 电子工业出版社, 2011: 72-85.
CONZALEZ Rafael C, WOODS Richard E. Digital Image Processing[M]. RUAN Qiuqi, RUAN Yuzhi, Translated. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 72-85.
- [2] 张 岩. MATLAB图像处理超级学习手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 171-209.
ZHANG Yan. Learning Handbook of MATLAB Image Processing[M]. Beijing: The People's Posts and Telecommunications Press, 2014: 171-209.
- [3] 冯竞舸. 静止图像的ROI区域自动提取与编码[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
FENG Jingge. Image ROI Area Automatic Extraction and Coding[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2013.
- [4] 盛道清. 图像增强算法的研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2007.
SHENG Daoqing. The Research of Image Enhancement Algorithm[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2007.
- [5] 李 锦. 图像增强算法的研究及应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
LI Jin. The Research and Application on Image Enhancement Algorithm[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- [6] 王彦臣, 李树杰, 黄廉卿. 基于多尺度Retinex的数字X光图像增强方法研究[J]. 光学 精密工程, 2006, 14(1): 70-76.
WANG Yanchen, LI Shujie, HUANG Lianqing. Enhancement of Radiography Based Multiscale Retinex[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(1): 70-76.
- [7] 赵小川. MATLAB图像处理: 程序实现与模块化仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014: 288-290.
ZHAO Xiaochuan. Matlab Image Processing: Procedure Achievement and Modularization Simulation[M]. Beijing: The Press of Beihang University, 2014: 288-290.
- [8] 林笑君, 梁凤梅. 基于Retinex的一种图像去雾算法[J]. 电视技术, 2013, 37(17): 155-158.
LIN Xiaojun, LIANG Fengmei. Method of Foggy Image Removing Algorithm Based on Retinex Theory[J]. Video Engineering, 2013, 37(17): 155-158.
- [9] 李福文, 金伟其, 陈伟力, 等. 基于Retinex模型的彩色图像全局增强算法[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(8): 947-951.
LI Fuwen, JIN Weiqi, CHEN Weili, et al. Global Color Image Enhancement Algorithm Based on Retinex Model[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(8): 947-951.
- [10] 杨万挺, 汪荣贵, 方 帅, 等. 滤波器可变的Retinex雾天图像增强算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(6): 965-971.
YANG Wanting, WANG Ronggui, FANG Shuai, et al. Variable Filter Retinex Algorithm for Foggy Image Enhancement[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(6): 965-971.
- [11] 洪 平. 基于Retinex理论的图像去雾研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
HONG Ping. Research of Restoration of Haze Image Based on Retinex[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013.

(责任编辑: 徐海燕)