

基于多尺度 Retinex 的自适应图像增强方法

刘 茜¹, 卢心红², 李象霖¹

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 2. 西南大学 计算机与信息科学学院, 重庆 400715)

(liuqian@hep.com.cn)

摘 要:介绍了一种基于 MSR 的自适应图像增强的方法,能够较好地自动处理由于云雾、雨天等天气原因和光照不足导致的景物不清、视觉质量差和对比度低的图像,提升多种类型的图像视觉质量。通过对实验的结果以及算法的普适性进行比较和分析,证明了该方法是有效的。

关键词:图像增强;多尺度 Retinex;自适应;普适性算法

中图分类号:TP751 **文献标志码:**A

Adaptive image enhancement method based on multi-scale Retinex algorithm

LIU Qian¹, LU Xin-hong², LI Xiang-lin¹

(1. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. College of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: This paper presented an adaptive image enhancement approach based on Multi-Scale Retinex (MSR). This method was good at automatic processing on imagery in poor weather conditions, such as fog, rain, thin cloud, or lack of light, to enhance the visual quality. The experimental results approve that this method is effective and generalizable, and suits for many types of images.

Key words: image enhancement; Multi-Scale Retinex (MSR); adaptive; universal algorithm

0 引言

数码 CCD、手持摄像机以及航拍胶片等在获取图像的时候,可能由于拍摄环境因素的影响无法获得令人满意的图像质量。在拍摄过程中的光照情况不均匀,使获得的图像曝光不均匀;或者受到薄云薄雾的影响,得到的图像可能模糊不清、对比度低或清晰度不够等。这种视觉效果不佳的图像给判读人员判定目标带来一定困难,尤其在战时,对敌侦察不可能重复进行,用有限的图像资料通过图像增强的方法处理后获得更多更准确的目标信息是至关重要的。

同态滤波被广泛用于图像对比度增强、去除云雾以及消除不均匀光照等问题^[1-3],取得了较好的效果。不过,这些方法直接对彩色图像进行处理的效果就不够理想。

单尺度 Retinex (Single Scale Retinex, SSR)、多尺度 Retinex (Multi-Scale Retinex, MSR) 在图像增强处理中具有锐化、色彩恒常、颜色高保真和高动态范围压缩等特性,特别是在处理恶劣天气下视觉质量较差的图像时,图像质量得到了很大的改善^[4-9]。本文提出了基于 MSR 的自适应图像增强算法,对视觉质量较差的灰度图像和彩色图像进行处理,并对算法的普适性进行了研究和分析。

1 Retinex 算法的发展

最早的 Retinex 算法是 Land 等人提出的,随后发展过程中出现了多种 Retinex 算法。近年来,Jobson 等人定义了 SSR 算法,它可以实现动态范围压缩(小尺度)或者色调重现(大尺度)的效果,但不能够同时兼顾这两种效果。Jobson 和 Rahman 后来又提出了 MSR 算法,用以平衡动态范围压缩和

色调重现以及图像增强效果。

1.1 单尺度 Retinex 算法

SSR 算法(SSR)是在 Land 提出的中心/环绕 Retinex 的基础上发展起来的^[10],该算法的实现和操作比较容易,运算速度较快,而且物理意义更加清楚。其数学形式可以表示为:

$$R_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (1)$$

其中 $I_i(x, y)$ 表示输入图像中的第 i 个颜色通道, $*$ 表示卷积运算, $R_i(x, y)$ 表示 Retinex 输出, $F(x, y)$ 为归一化的中心/环绕函数,即:

$$\iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (2)$$

1.2 多尺度 Retinex 算法

Jobson 等人指出,颜色恒常性理论的目标是要同时完成动态范围的压缩、颜色相对于照度的独立和颜色的重现^[10]。SSR 算法虽然对彩色航拍图像的处理有较好的效果,但为了更好地实现动态范围的压缩和颜色的恒常性,需要采用 MSR 算法^[6-7],其数学形式为将多个 SSR 的输出结果进行加权求和:

$$R_{Mi}(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n \left\{ \log I_i(x, y) - \log [F_n(x, y) * I_i(x, y)] \right\} \quad (3)$$

其中 $R_{Mi}(x, y)$ 是 MSR 在第 i 个色彩空间的输出, N 为尺度个数, ω_n 为对应于每一个尺度的权值,满足:

$$\sum_{n=1}^N \omega_n = 1 \quad (4)$$

$I_i(x, y)$ 为第 i 个色彩空间的图像分布, $F_n(x, y)$ 为对应权值 ω_n 的第 n 个环绕函数,选取高斯形式,即有以下形式:

$$F_n(x, y) = K_n e^{-r^2/c_n^2} \quad (5)$$

收稿日期:2009-02-20;修回日期:2009-03-31。

作者简介:刘茜(1979-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:数字图像增强、数字水印;卢心红(1977-),男,四川江油人,讲师,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理、计算机应用;李象霖(1938-),男,天津人,教授,主要研究方向:数字图像处理、数字水印、三维运动分析。

其中 c_n 为第 n 个尺度; K_n 为归一化因子, 当 $n = 1$ 时, 即为单尺度的情况。在实际应用时, 环绕函数尺度的选择应尽量包含各个范围的尺度, 一般选择一个小尺度、一个中间尺度和一个大尺度。MSR 同时包括了多个尺度的特征, 综合了小尺度的动态范围压缩和细节增强、大中尺度的色彩重现的优势, 能够同时实现图像的锐化、动态范围的压缩、对比度改善、颜色恒常性和颜色的重现, 使图像的处理效果更加理想。

2 基于 MSR 的自适应图像增强算法

2.1 尺度的选择

尺度参数 C 是 Retinex 算法的重要参数。一般情况下 MSR 算法中需要选择一个小尺度、一个中尺度和一个大尺度, 以保证处理结果能够得到较好的图像对比度增强, 在动态范围得到压缩的同时能够保持图像的基本色调。

Retinex 算法处理时是将卷积转换为频域的滤波, 这样就只讨论一个参数 C 对结果影响, Retinex 计算过程中首先生成一个与图像大小相同的高斯模板, 然后将其转换到频域上进行频域滤波, 滤波结果再反变换回去。由于高斯函数具有其傅里叶变换和反变换都是高斯函数的特点, 所以可以很直观地从中心环绕函数的高斯滤波器看出尺度参数对 SSR 结果影响的规律。根据频域功率分布规律, 并进行 Retinex 算法实验得到以下规律:

- 1) 当尺度为图像大小的 1% ~ 5% 时, Retinex 结果能够获得非常好的图像边缘细节, 可以选择其作为小尺度。
- 2) 当尺度为图像大小的 10% ~ 15% 时, Retinex 结果能够同时得到图像边缘细节和色彩, 可以选择其作为中等尺度。
- 3) 当尺度为图像大小的 30% ~ 50% 时, Retinex 结果得到比较平衡的色彩, 可以选择其作为大尺度。

尺度的选择与图像的大小有关, 对于图像大小一定的系列图像, 选定好尺度后 Retinex 算法对这一系列的图像都能起较好的增强作用。在实际应用中, 用户可以根据自己的需要来设置尺度的大小, 比如, 如果想让图像中的更多细节显示出来, 可以选择添加一个小的尺度来满足要求, 或者将小尺度 Retinex 结果所占的权值调整大一些。

2.2 MSR 自适应增强处理

经过 MSR 处理后的结果有正有负, 因此输出到显示器或者输出为图像时, 必须对其进行增益处理, 将其像素值映射到输出设备的表示范围上, 通常情况是映射到 $[0 \sim 255]$ 内, 从而得到视觉效果较好的增强图像。

在对多幅受云雾影响、光照不足的图像的处理中, 我们对 MSR 处理后的结果图像进行分析, 发现其输出结果的直方图绝大多数都近似于正态分布。

由此本文尝试利用正态分布的特性, 选择一种基于直方图的自动截断拉伸的自适应图像增强算法, 以改善图像的处理效果。对输出结果的截断拉伸可以用如下公式表示, :

$$I_{\text{out}} = \begin{cases} 0, & I_{\text{in}} \leq I_{\text{low}} \\ \frac{I_{\text{in}} - I_{\text{low}}}{I_{\text{high}} - I_{\text{low}}} d_{\text{max}}, & I_{\text{low}} \leq I_{\text{in}} \leq I_{\text{high}} \\ d_{\text{max}}, & I_{\text{in}} \geq I_{\text{high}} \end{cases} \quad (6)$$

其中: I_{in} 和 I_{out} 分别为输入输出的灰度值, d_{max} 表示输出设备的动态范围, 如 8 bit 系统为 256 级, I_{high} 和 I_{low} 分别为上限截取点和下限截取点的灰度值。上限截取点 I_{high} 和下限截取点 I_{low} 的选取是关键。对于正态分布来说, 每个样本落在平均值附近 1 倍标准差范围内的可能性达到 68.3%, 落在平均值附近 2 倍、3 倍标准差范围内的可能性分别达到 95.5% 和

99.7%。因此, 可以根据图像的均值和标准差来确定截取点的上限 I_{high} 和下限 I_{low} :

$$\begin{cases} I_{\text{high}} = \mu + n\delta \\ I_{\text{low}} = \mu - n\delta \end{cases} \quad (7)$$

其中: μ 为图像的均值, δ 为图像的标准差, n 为需要在均值附近截取的标准差倍数。 μ 和 δ 是根据图像自动计算出来的, n 从理论上分析取 3 为最佳状态: 实验结果也显示在 $[\mu - 3\delta, \mu + 3\delta]$ 处截取并拉伸得到的图像视觉效果最佳: 对于彩色图像来说, 整体色彩真实复原较好, 图像细腻清晰。

3 实验结果分析

3.1 结果与分析

图 1 和 2 分别给出了自适应 MSR 图像增强的效果图。表 1 和 2 分别给出了幂次变换、直方图均衡化、Sobel 算子锐化、拉普拉斯算子锐化、同态滤波、MSR 以及基于 MSR 的自适应增强算法, 对该航拍胶片灰度图像和航拍彩色图像处理后图像质量评价指标统计数据。

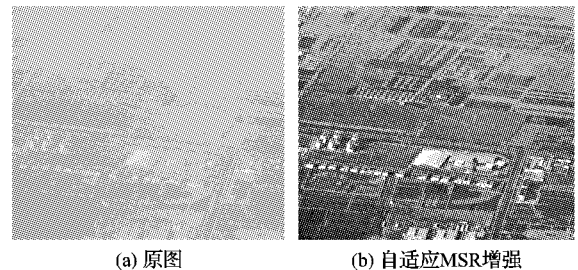


图 1 航拍胶片灰度图像

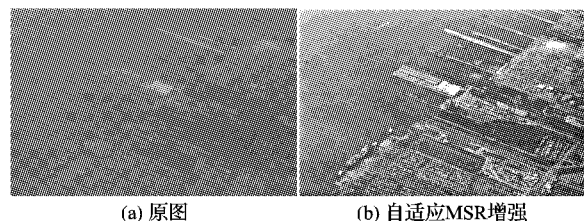


图 2 航拍彩色图像

表 1 航拍胶片图像处理前后图像质量评价指标统计数据

图像处理	均值	标准差	信息熵
原图	196.67	10.73	5.44
幂次变换	108.99	20.03	6.30
直方图均衡化	127.62	74.66	7.96
Sobel 算子锐化	172.62	20.00	6.21
拉氏算子锐化	170.45	19.81	6.18
同态滤波	123.82	40.64	7.20
MSR	98.02	25.40	6.65
自适应 MSR	127.09	42.01	7.34

从统计数据可以看出, 采用图像增强处理后的图像均值都有所改善。航拍灰度图像原图整体偏亮, 均值偏高, 增强处理后的图像均值都有所下降, 其中多数趋于 100 ~ 130。同时, 处理后图像的标准差以及信息熵相对与原图来说, 也有不同程度的增加。

综合比较, 自适应的 MSR 图像增强结果, 在细节丰富程度、对比度、图像整体亮度以及色彩复原方面都能够达到适度平衡, 图像的整体可视效果也是最好的: 能够同时实现图像动态范围压缩和扩展、图像锐化增强以及亮度对比度增强, 较好地复原图像中物体本来的颜色, 有效地改善图像对比度、清晰

度以及整体亮度,提高图像的视觉质量,使得图像能够达到最佳的视觉效果。

表2 航拍彩色图像处理前后图像质量评价指标统计数据

图像处理	均值	标准差	信息熵
原图	116.37	10.32	5.36
幂次变换	160.44	27.88	6.76
直方图均衡化	127.81	74.21	7.90
Sobel 算子锐化	119.23	13.97	5.54
拉氏算子锐化	119.00	15.60	5.57
同态滤波	83.97	27.52	7.05
MSR	87.47	17.02	6.03
自适应 MSR	126.86	39.29	7.26

3.2 稳定性与普适性

在进行研究的过程中,为了考察测试自适应 MSR 增强算法的稳定性、健壮性以及其适用图像类型的范围,针对多幅航拍图像以及其他类型的质量较差图像进行处理,其中包括光照不均的图像、光照不足的图像和其他雾天拍摄的照片,实验中发现也能够获得较好的图像视觉效果(图3~5为部分效果图),从一定程度上来说算法具有较好的普适性。



图3 光照不均匀的图像处理效果

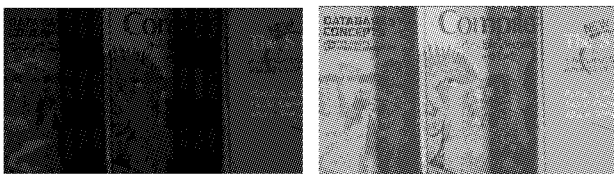


图4 光照不足的图像处理结果



图5 雾天图像处理效果

本文对30张不同类型的图像进行自适应 MSR 处理,将原图和增强后图像的均值、标准差以及信息熵进行统计并对比,如图6所示。其中编号1至10为云雾影响的航拍胶片图像;11至16为光照不均匀的图像;17,18为光照不足的图像;19到30号的图像为其他雾天和水下拍摄的图像。

从均值对比图中可以看出:自适应 MSR 算法能够较好地平衡图像的整体灰度。当图像整体灰度偏高,处理结果的均值将降低到适当灰度值;当图像整体灰度偏低时,自适应 MSR 算法又能够将其平均灰度提升到适当灰度值。

从标准差对比图中可以发现:自适应 MSR 算法能够平衡图像的对比度。当图像的对比度较低时,经过自适应 MSR 锐化处理对比度能有一定增加;当图像的对比度较高时,自适应 MSR 算法的动态范围压缩的功能又能够使图像对比度回到适当位置。

从信息熵对比图中可以观察到:处理后的图像信息熵绝

大多数高于原图像,从一定程度上反映了处理后的图像灰度分布相对均匀,图像的细节较为丰富。

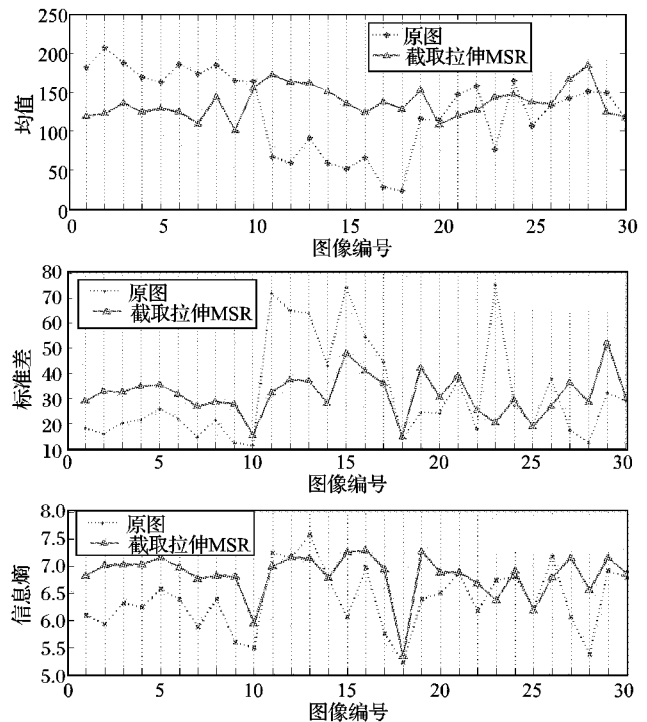


图6 不同类型图像质量评价指标统计量的对比图

综合来看,基于 MSR 的自适应图像增强算法能够对多种类型的图像进行有效的处理,算法具有较强的健壮性和稳定性,适用范围比较广泛,而且能够根据图像大小自动选择尺度参数以及自动对 MSR 处理结果进行截断拉伸,具有较好的图像自动增强处理的能力。

参考文献:

- [1] 赵忠明,朱重光. 遥感图像中薄云的去除方法[J]. 遥感学报, 1996, 11(3): 195-199.
- [2] 张锁平,张春田. 基于同态滤波的海表面图像照度校正[J]. 海洋技术, 2007, 26(1): 6-9.
- [3] 郑刚,贾振红. 同态技术在红外图像处理中的应用[J]. 光子学报, 2005, 34(9): 1401-1403.
- [4] RAHMAN Z, JOBSON D J, WOODDELL G A, et al. Automated, on-board terrain analysis for precision landings[J]. Visual Information Processing XIV, Proceedings of SPIE, 2006, 6246: 62460J.
- [5] WOODDELL G A, JOBSON D J, RAHMAN Z, et al. Advanced image processing of aerial imagery[J]. Visual Information Processing XIV, Proceedings of SPIE, 2006, 6246: 62460E.
- [6] RAHMAN Z, JOBSON D J, WOODDELL G A, et al. Image enhancement, image quality, and noise[J]. Photonic Devices and Algorithms for Computing VII, Proceedings of SPIE, 2005, 5907: 59070N.
- [7] WOODDELL G A, JOBSON D J, RAHMAN Z, et al. Enhancement of imagery in poor visibility conditions[J]. Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense IV, Proceedings of SPIE, 2005, 5778: 673-683.
- [8] 李学明. 基于 Retinex 理论的图像增强算法[J]. 计算机应用, 2005, 25(2): 235-237.
- [9] 肖志军,黄建军. 城市彩色航空影像的边缘模糊 Retinex 阴影消除[J]. 中国体视学与图像分析, 2004, 9(2): 95-98.
- [10] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODDELL G A. Properties and performance of a center/surround Retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.