

基于暗原色先验模型的 Retinex 算法

汪荣贵,傅剑峰,杨志学,沈法琳,查 炜

(合肥工业大学计算机与信息学院,安徽合肥 2310009)

摘 要: 现有雾天图像增强的 Retinex 算法采用固定滤波器,无法适应多种景深和雾化程度的情况.对此,本文提出一种基于暗原色先验模型的 Retinex 算法.暗原色先验模型反映了雾天图像中雾的分布与景深信息.受此启发,根据局部区域暗原色值设计一种尺度可变滤波器,针对不同景深和雾化区域采用不同尺度的滤波器估算雾天图像的照度分量,实现对雾天图像的增强.分别使用主观观察和客观数据分析方法,将本文算法与 HE 算法、固定尺度 MSR 算法进行对比,本文算法在细节增强以及图像整体效果上均优于 HE 算法和固定尺度 MSR 算法.

关键词: 雾天图像增强; Retinex 算法; 暗原色先验模型; HE 算法; MSR 算法

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 06-1188-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.06.022

A Novel Retinex Algorithm Based on Dark Channel Prior Model

WANG Rong-gui, FU Jian-feng, YANG Zhi-xue, SHEN Fa-lin, ZHA Wei

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 2310009, China)

Abstract: Current Retinex algorithm applied in foggy image enhancement with fixed filter can't adapt to the situation of various depth of field and atomization. This paper presents a self-adaptive filter Retinex algorithm based on dark channel prior model. The model of dark channel prior reflects the information of field depth and distribution of atmosphere in foggy image. We are inspired to design an self-adaptive filter according to the local value of dark channel using different filters in different depth of field and foggy area to estimate the illumination component of the image, and to achieve the clarity of foggy image. Finally, we compare the result of the proposed algorithm with the result of HE algorithm and result of fixed filter MSR algorithm using the subjective observation and objective data analysis method. The comparison shows that the result of Retinex algorithm based on dark channel prior has better detail of image and global effect than that of the HE algorithm and fixed filter MSR algorithm.

Key words: foggy image enhancement; Retinex algorithm; dark channel prior model; HE algorithm; MSR algorithm

1 引言

近年来,关于雾天图像增强^[1~3]的算法有很多, Retinex 算法^[4~11]作为图像增强研究领域的一种新思路,是其中最具代表性的算法之一,在雾天图像增强上也受到越来越多的重视. Retinex 算法以色彩恒常性为基础,认为物体的表色由物体表面的反射特性决定,与场景中入射光关系不大. Glenn A Woodell 最先提出将 Retinex 应用于雾天图像增强^[4];陈雾研究了随机路径 Retinex 算法、多尺度 Retinex 算法^[6](Multi-Scale Retinex, MSR)在雾天图像增强中的应用^[7];汪荣贵、朱静提出基于 LIP 模型的 Retinex 算法,将图像分割成四种不同的照度区域,分别进行增强处理^[10].

现有研究成果表明, MSR 算法是 Retinex 算法中增强效果较好的一种,然而该方法使用固定滤波器对整幅图像进行照度分量估计,在滤波器的设计上没有充分考

虑到图像的雾化程度以及不同景深的图像信息,不能同时保证色彩保真性与局部细节的清晰.

暗原色先验(dark channel prior)理论最早由何恺明在“基于暗原色先验的单幅图像去雾算法”^[12,13](下文称之为 HE 算法)中提出.该算法认为,无雾的正常图像在 RGB 颜色通道中至少存在一个通道的强度值最低,且趋于零,称之为暗原色.在有雾的情况下,由于大气光散射的原因,暗原色的强度值主要由散射光组成,造成有雾的区域暗原色值较大.因此雾天图像的暗原色值反映了图像中雾的分布与景深信息,暗原色值越大,雾的浓度越大,景深则越深;暗原色值越小,雾的浓度则越淡,景深则越近.

受此启发,本文提出一种基于暗原色先验(dark channel prior)的多尺度 Retinex 算法.该算法通过暗原色图作为雾天图像的先验知识,以此为基础设计一个可以适应不同局部区域雾化程度的可变滤波器,用于估算

图像的照度分量,这样就很好的避免了 MSR 算法的参数选择没有考虑图像景深信息的局限性。

2 可变滤波器的设计

由于 MSR 算法采用的是固定滤波器,无法对图像中不同景深的局部区域采用合适的增强策略.根据暗原色先验理论,我们得知雾天图像景深与雾的浓度都可由暗原色值反映出来,因此我们根据雾天图像中不同局部区域暗原色值分布情况采用可变的滤波器进行照度分量的估计,这样可以更加准确的估算出照度分量,获得更好的增强效果。

本节研究如何根据暗原色先验模型(暗原色值),设计出符合不同景深与局部雾化程度的可变滤波器.根据 Retinex 算法可知, σ 参数较大时,处理后的图像全局性较好,但局部细节增强效果相对较差,比较适合于淡雾图像;当 σ 参数较小时,处理后的图像局部细节很清晰,但全局性较差,比较适合于浓雾图像.因此,为了更好地设计出可变滤波器,我们将雾天图像分成浓雾、中雾和淡雾这三种情况进行讨论.本文通过实验数据总结出划分标准:淡雾区域暗原色值范围为[26,84],中雾区域暗原色值范围为[85,143],浓雾区域暗原色值范围为[144,200].暗原色值低于 26 的部分认为无雾,超过 200 的部分认为是天空区域,不做任何处理.下面给出可变滤波器的设计方法。

首先在图像中选定一个子块,计算出当前子块的暗原色均值 Dark 和雾天图像的传输分量 \tilde{t}_c ^[12].将有雾子块分三种情况考虑,如下所示:

当 $\text{Dark} \in [26, 84]$ 时:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= C_1 + W_1 \cdot \text{abs}(\tilde{t}_c - \text{TH}_1) \\ W_1 &= \alpha \cdot \log(\tilde{t}_c / \text{TH}_1) \end{aligned} \quad (1)$$

当 $\text{Dark} \in [85, 143]$ 时:

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= C_2 + W_2 \cdot \text{abs}(\tilde{t}_c - \text{TH}_2) \\ W_2 &= \alpha \cdot \log(\tilde{t}_c / \text{TH}_2) \end{aligned} \quad (2)$$

当 $\text{Dark} \in [144, 200]$ 时:

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= C_3 + W_3 \cdot \text{abs}(\tilde{t}_c - \text{TH}_3) \\ W_3 &= \alpha \cdot \log(\tilde{t}_c / \text{TH}_3) \end{aligned} \quad (3)$$

$\text{TH}_1, \text{TH}_2, \text{TH}_3$ 为传输分量在三种雾天情况下的变化阈值,分别取 55、114、170; C_1, C_2, C_3 为 σ 基准尺度参数,分别取 23、80、110(此数据是通过长期对不同程度的雾天图像处理得到的实验数据).最后计算出的尺度参数 σ_i ($i = 1, 2, 3$) 分别在三种基准参数值上下进行波动; W_i ($i = 1, 2, 3$) 是由当前子块的传输分量(暗原色值)与阈值信息一起得到的权值,其中 α 通过调节权值来调节子块中传输分量对尺度参数的影响,如果 α 越大,则传输分量对尺度参数的影响越大,相反其影响就会

越小,因此根据雾的浓度情况,当雾越浓,需要 σ 越小,则系数 α 也应该越小,在本文实验中我们取 α 为 1/7.这样我们就得到了根据局部暗原色值(传输分量值),对高斯参数进行自适应调节的可变高斯滤波器。

以上所述设计可变滤波器的方法我们称为策略 1.下面进一步分析暗原色值与高斯函数 σ 之间的关系,得到一个非线性拟合结果,如公式(4)所示:

$$\sigma = \exp\left(\gamma \cdot \frac{\tilde{t}_c}{\text{TH}_c}\right) \quad (4)$$

其中 σ 为尺度参数, \tilde{t}_c 为图像的传输分量, σ 与传输分量 \tilde{t}_c 存在着指数关系. TH_c 为雾天图像传输分量的阈值参数, γ 为调节系数,因为雾天图像传输分量值主要分布在 55 - 220 之间,因此我们取阈值参数 TH_c 为 112.5, γ 取为 2,这样就得到了尺度参数 σ 与暗原色值之间的函数关系,利用公式(4)实现可变滤波器的设计。

最后,如公式(5)所示.将此高斯函数应用于当前子块,对子块进行滤波运算。

$$\begin{aligned} F(x, y) &= \frac{1}{2\pi\sigma_i^2} * \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_i^2}\right) \\ &= \frac{1}{2\pi \left(\exp\left(\gamma \cdot \frac{\tilde{t}_c}{\text{TH}_c}\right)\right)^2} * \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2 \left(\exp\left(\gamma \cdot \frac{\tilde{t}_c}{\text{TH}_c}\right)\right)^2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

3 暗原色先验 Retinex 算法

现在根据前面设计出的可变滤波器,提出一种基于暗原色先验的自适应多尺度 Retinex 算法.该算法首先计算出入射分量,然后在此基础上计算出反射分量,并将反射分量作为去雾后的清晰化图像输出.为实现全局的入射估计,本文使用子块平移部分重叠方法,根据局部的景深和雾化程度计算出可变的滤波器,由此估计整幅图像入射分量.算法流程如图 1 所示:

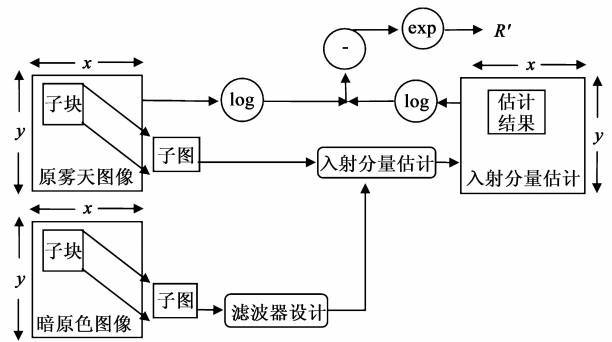


图1 本文算法流程

先从原图中提取子块区域,计算其暗原色图,如公式(6)所示:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right) \quad (6)$$

其中 J^{dark} 为图像子块 J 的暗原色, J^c 表示图像子块 J 的某一个通道的值, 而 $\Omega(x)$ 表示以 x 为中心的方形区域.

根据文献[12], 暗原色分量与传输分量 \bar{t} 存在着下面的关系:

$$t(x) = 1 - \omega J^{\text{dark}}(x) \quad (7)$$

其中 ω 为一个常数 ($0 < \omega \leq 1$), 目的是有针对性的保留一部分覆盖遥远景物的雾, 使处理的结果看起来更加自然.

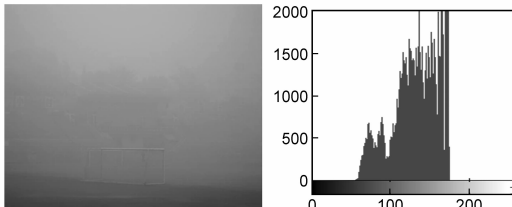
通过暗原色和传输分量计算出可变滤波器. 对原图 $I(x, y)$ 进行滤波运算, 得到入射分量 $I_{\text{low}}(x, y)$, 如下式所示:

$$I_{\text{low}}(x, y) = I(x, y) * F(x, y) \quad (8)$$

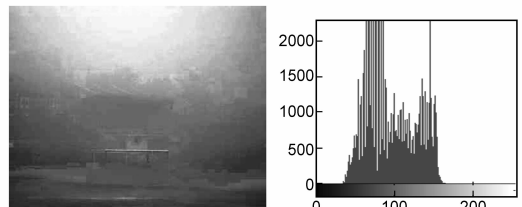
其中 $*$ 为卷积运算; $F(x, y)$ 为高斯函数, 表达式如上一节式(5)所示.

最后在对数域中将原图减去整幅图像的入射分量, 得到最终增强图像. 公式如下:

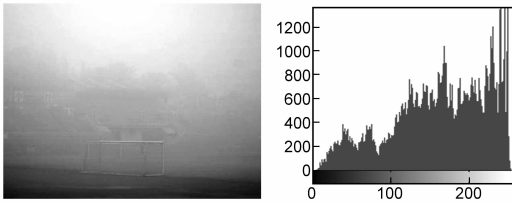
$$R'(x, y) = I'(x, y) - \log I_{\text{low}}(x, y) \quad (9)$$



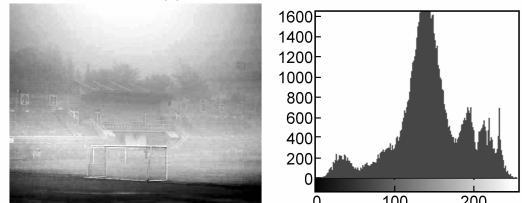
(a) 原图及其直方图



(b) HE处理结果及其直方图

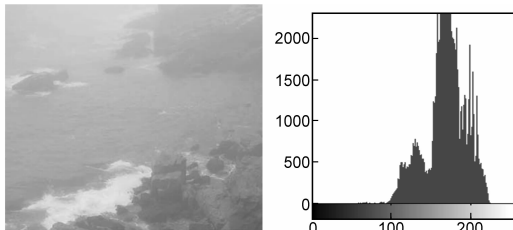


(c) MSR处理结果及其直方图

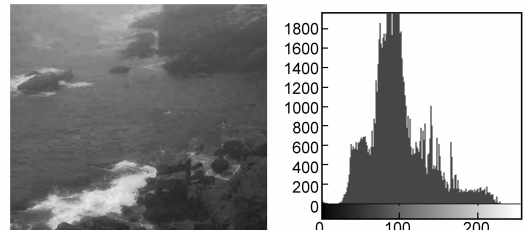


(d) 本文算法处理结果及其直方图

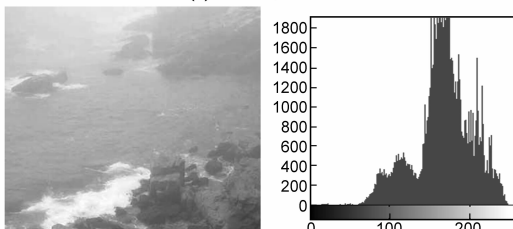
图2 浓雾处理结果对比



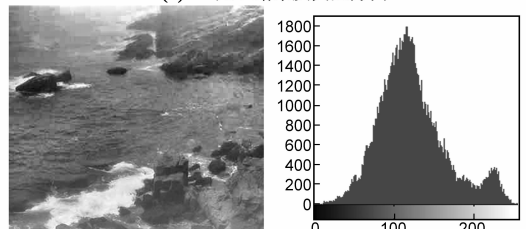
(a) 原图及其直方图



(b) HE处理结果及其直方图



(c) MSR处理结果及其直方图



(d) 本文算法处理结果及其直方图

图3 中雾处理结果对比

其中 $I'(x, y) = \log I(x, y)$

算法中, 子块越大效果越平滑. 子块平移的步长不宜过大, 否则会出现块状效应.

4 实验分析

本文实验处理的图像是在不同雾天条件下进行拍摄的, 增强时子块的大小均为 100×100 , 步长为子块的 $1/30$. 将本文算法分别与经典的 MSR 算法和 HE 算法进行比较, 结果如下所示:

图2~图4分别是浓雾、中雾、淡雾图像处理的结果及对应的灰度直方图. 从上图结果的对比中可以看出: 在局部细节方面(如图2中部看台部分, 图3右上角岩石区域, 图4下角区域)本文算法相比于 HE 算法与 MSR 算法更加清晰. 从图像整体的效果进行观察, 得到 HE 算法去雾后的图像明显偏暗且颜色过于饱和, 本文算法处理后的图像整体亮度适中, 更能体现场景目标的层次感.

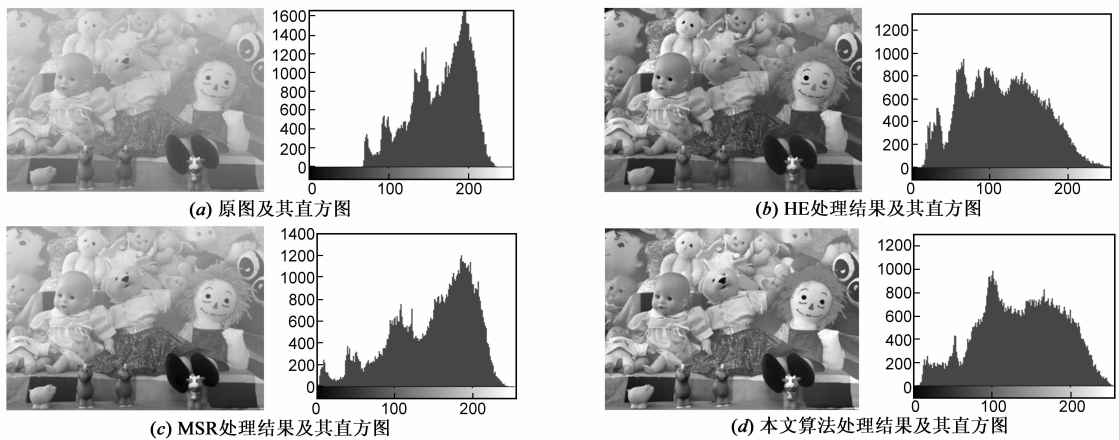


图4 淡雾处理结果对比

本文引入平均梯度、边缘强度、灰度均值作为评价标准,对图像的边缘和细节信息进行评价,这些值越大表示图像的清晰度越高.如下表 1~3 所示:

表 1 浓雾各项数据

浓雾	平均梯度	边缘强度	均值
原图	0.5463	5.7186	132.5170
HE 算法	1.2637	13.2218	94.8223
MSR 算法	1.1800	12.5287	161.5850
本文算法	3.1411	32.6962	144.8010

表 2 中雾各项数据

中雾	平均梯度	边缘强度	均值
原图	1.6016	16.1342	170.4600
HE 算法	2.9637	30.2218	94.8223
MSR 算法	2.3654	23.8306	166.9644
本文算法	5.7951	59.3177	124.0861

表 3 淡雾各项数据

淡雾	平均梯度	边缘强度	均值
原图	3.3808	34.7467	163.0091
HE 算法	6.5792	68.2726	113.5228
MSR 算法	5.0252	52.1130	146.3830
本文算法	7.5165	78.2029	134.0549

从表中的数据可以看出,本文算法增强后图像的平均梯度、边缘强度、熵要比 HE 算法和 MSR 算法的高.说明本文算法增强后的图像细节更明显.且本文算法处理后的图像像素值主要分布在 120 左右,更加符合人眼视觉观察,获得更好的视觉效果.

5 结论

针对现有的 MSR 算法采用固定滤波器,无法满足对不同雾化程度和多种景深区域的处理,提出一种基于暗原色先验的滤波器可变 Retinex 算法,以针对不同雾化区域以及景深区域采用相应的滤波策略.将本文算法与 HE 算法以及固定尺度 MSR 算法进行对比:相比于 HE 算法,本文算法处理后的图像更亮,细节更加明

显;相比于固定尺度 MSR 算法,本文处理后的图像边缘细节更加清晰,同时也有着较好的全局效果.由于本文算法采用的是子块部分重叠的方法实现局部滤波,算法效率上要略差于固定尺度 MSR 算法,如何提高算法的效率将是后面研究的重点.

参考文献

- [1] GONZAEL R C. Digital Image Processing[M] (2nd ed). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. 460 - 521.
- [2] 陈桂友,孙同景,雷印胜.一种基于自适应滤波的指纹图像增强算法[J].电子测量与仪器学报,2006,20(6):76 - 80.
Chen G Y, Sun T J, Lei Y S. Fingerprint image enhancement based on adaptive filter[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2006, 20(6): 76 - 80. (in Chinese)
- [3] 王健,陈启美,章德. CMOS 图像实时增强预处理研究及实现[J].仪器仪表学报,2007,28(1):48 - 52.
Wang J, Chen Q M, Zhang D. Study on real-time image enhancement pre-processing for CMOS sensor[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2007, 28(1): 48 - 52. (in Chinese)
- [4] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A, Hines G D. Image enhancement, image quality, and noise [A]. Proceedings of the Photonic Devices and Algorithms for Computing VII[C]. San Diego: SPIE, 2005. 164 - 178.
- [5] 芮义斌,李鹏,孙锦涛.一种图像去薄雾方法[J].计算机应用,2006,26(1):154 - 156.
Rui Yibin, Li Peng, Sun Jintao. Method of removing fog effect from images [J]. Journal of Computer Applications, 2006, 26(1): 154 - 156. (in Chinese)
- [6] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Multi-scale retinex for color image enhancement [A]. Proceedings of the International Conference on Image Processing. Lausanne [C]. Switzerland: IEEE Press, 1996. 1003 - 1006.
- [7] 陈雾.基于 Retinex 理论的图像增强算法研究[D].南京:

南京理工大学, 2006.

Chen Wu. Image Enhancement Based on Retinex Theory[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2006. (in Chinese)

- [8] 王大雷. 雾天图像增强技术的分析与研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.

Wang Dalei. Analyze and Research on Foggy Image Enhancement[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)

- [9] 汪荣贵、张璇. 一种新型自适应 Retinex 图像增强方法研究[J]. 电子学报, 2010, 38(12): 2933 – 2936.

Wang Ronggui, Zhang Xuan. A novel adaptive Retinex algorithm for image enhancement [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(12): 2933 – 2936. (in Chinese)

- [10] 汪荣贵, 朱静, 杨万挺, 方帅. 基于照度分割的局部多尺度 Retinex 算法[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1181 – 1186.

Wang Ronggui, Zhu Jing, Yang Wangting, Fang Shuai. An improved local multi-scale Retinex algorithm based on illumination image segmentation[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5): 1181 – 1186. (in Chinese)

- [11] Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. Properties and performance of a center/surround Retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451 – 462.

- [12] Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang. Single image haze removal using dark channel prior[A]. CVPR 2009[C]. Miami, Florida: IEEE, 2009. 1956 – 1963.

- [13] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. A closed form solution to natural image matting [A]. CVPR 2006 [C]. New York: IEEE, 2006. 61 – 68.

作者简介



汪荣贵 男, 1966 年出生于安徽池州, 计算机应用技术专业博士, 合肥工业大学计算机与信息学院教授, 博士生导师, 中国计算机学会高级会员, 主要研究方向为智能视频处理与分析、车载视觉增强系统、多媒体技术。



傅剑峰(通信作者) 男, 1987 年出生于安徽芜湖, 合肥工业大学计算机与信息学院硕士研究生, 主要研究方向为智能视频处理与分析、车载视觉增强系统、多媒体技术。

E-mail: fujfeng1987@126.com