

基于单尺度 Retinex 雾天降质图像增强算法

刘 松, 孙 东, 卢一相

(安徽大学 电气工程与自动化学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 针对雾天采集的图像的退化现象, 提出一种基于单尺度 Retinex 的雾天图像增强的算法. 此算法首先把图像从 RGB 空间转换到 HSI 空间, 对亮度 I 分量用单尺度 Retinex 估计出与场景深度信息相关的雾气遮罩度, 从亮度 I 分量中除去所估算的雾气遮罩度, 即可得到亮度 I 分量的反射分量; 然后利用双边滤波器, 提取雾气遮罩度的反射分量, 将该反射分量和亮度 I 的反射分量进行融合, 并对饱和度 S 进行线性拉伸; 最后转换到 RGB 空间即可得到增强后的图像. 实验结果表明, 该方法对雾天退化图像效果较好.

关键词: Retinex; HSI 空间; 雾气遮罩度; 双边滤波

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)11-0043-04

Fog-degraded Image Enhancement Based on Single-scale Retinex

LIU Song, SUN Dong, LU Yi-xiang

(College of Electrical Engineering and Automation, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: According to degraded phenomena of images taken in foggy weather, this paper proposed an algorithm of foggy image enhancement based on Single-Scale Retinex. The proposed algorithm first converted RGB color space to HSI space. Using Retinex to estimate the fog veil of brightness whose distribution was in accord with the real fog density of the scene. The reflectance image could be obtained by subtracting the veil from the degraded image. Then, using bilateral filtering extracted the reflectance information included in the veil. The result image could be obtained by fusing the both reflectance images, using linear stretching to adjust saturation and conversing to RGB color space. Experiments show that the algorithm is more effective in foggy weather.

Key words: Retinex algorithm; HSI color space; fog veil; bilateral filtering

1 引言

目前, 雾天退化图像的增强主要有两类方法: 一是基于大气退化物理模型的复原方法; 另一种是从图像处理角度, 达到清晰化的目的. 基于大气退化物理模型的复原方法, 需要以获取所需要的景深信息为前提. Oakley 等^[1]实现了灰度场景的复原, 该方法是以多种假设为前提, 建立的一个多参数退化模型. Fattal^[2]通过估计物体表面的反射率和光路传播图进行雾天图像增强, 但是该方法对浓雾处理效果较差. Tan 等^[3]借助硬件设备, 实现了彩色退化图像复原, 这给实际应用带来不便. He 等^[4]由大量无雾

图像统计得到暗原色先验知识, 再通过精细化抠图处理, 能得到好的去雾效果. 但其计算量大, 不能实时处理. 从图像处理角度的方法, 不用获取景深信息, 故适用范围广, 但是可能会造成部分信息的损失. 主要有直方图均衡法、同态滤波法和 Retinex 法等. 直方图均衡法容易扭曲图像原来的颜色; 同态滤波对光照不均匀的图像处理效果较好, 但对雾天降质图像, 处理的效果往往较差.

根据大气物理模型的有关理论, 可以将雾天图像看成是由雾霭等大气因素综合作用的部分(对应于入射分量)和反映场景本来特征的部分(对应于反射分量)这两部分组成^[5]. 这就为用 Retinex 理论处

收稿日期: 2013-01-08; 修回日期: 2013-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51177002)

理雾天降质图像提供了理论依据. Retinex 理论是美国物理学家 Edwin Land 在 1964 年首次提出^[6], 该理论符合人类视觉感知机制, 同时具有锐化、颜色恒常性、动态范围大、色彩保真度高等优点^[7].

现有的雾天图像增强算法在增强图像细节的同时, 也会增大噪声. 针对这一问题, 本文提出 Retinex 和双边滤波相结合的算法.

2 Retinex 理论

Retinex 是视网膜(Retina)和大脑皮层(Cortex)的缩写. 它的基本原理是人感知到某点的光照并不取决于该点的绝对光照值, 还和其周围的光照值有关^[8]. 根据 Retinex 理论, 环境在人眼中的成像取决于环境的入射光(即光照分量)和物体的反射性质(即反射分量). 成像过程可以用下式表示:

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

式中, $L(x, y)$ 表示光照分量, 决定一副图像的动态范围; $R(x, y)$ 表示物体的反射分量, 即物体对入射光反射能力的大小, 决定图像的内在性质; $S(x, y)$ 是反射光, 如果被人眼接受, 物体的图像就会形成. 可见, 反射性质决定物体的内在性质. 如果能通过某种方法求出物体的反射性质, 即可排除外界环境光照对物体的影响, 从而获得物体本来的面貌.

Retinex 理论主要的缺陷: 第一, 它是假设光照是平缓的变化, 这与实际情况不符; 第二, 对彩色图像是分别对各颜色通道进行处理, 这会破坏各颜色通道原本的相关性, 是颜色被破坏.

2.1 Retinex 的计算

Retinex 具体的计算流程见图 1. 为了计算方便, 对式(1)两边取对数, 将把复杂的乘积关系转换成加减关系, 简化了运算, 另外对数形式接近人眼亮度感知能力. 由图 1 可以看出, 用 Retinex 进行图像增强最关键的一步是如何获得光照分量, 但光照分量的计算在数学上是一个奇异问题, 因此只能近似的计算出来.

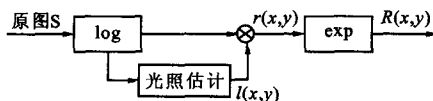


图 1 Retinex 算法流程图

根据光照分量估计方法的不同, 先后出现了多种 Retinex 的算法. 最早的 Retinex 算法是由 Land 等人提出的任意路径算法^[9], 随后, 提出了同态滤波的 Retinex 算法、泊松方程增强算法、McCann 增强算法、单尺度 Retinex, 以及可变框架的 Retinex 算

法^[10].

在这些 Retinex 计算方法中, 由于单尺度 Retinex、多尺度 Retinex 算法实现简单, 因此应用较为广泛.

2.2 单尺度 Retinex

将式(1)两边取对数, 即为单尺度 Retinex 算法的计算式:

$$\begin{aligned} s_i(x, y) &= \log[S_i(x, y)] \\ &= \log[R_i(x, y)] + \log[L_i(x, y)] \\ &= \log[R_i(x, y)] + \log[S_i(x, y) \\ &\quad * G(x, y)] \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $i = 1, 2, 3$, i 表示第 i 个颜色通道; $R_i(x, y)$ 代表第 i 个颜色通道的反射分量; $L_i(x, y)$ 代表第 i 个颜色通道的光照分量; $*$ 表示卷积运算; $G(x, y)$ 表示中心 / 围绕函数, 可用高斯函数来实现:

$$G(x, y) = \lambda \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

式中 λ 由归一化函数决定,

$$\iint G(x, y) dx dy = 1 \quad (4)$$

式(3)中, σ 为尺度参数. σ 取值越小时, 动态范围的压缩效果越明显, 图像细节增强效果就越好, 但增强后的图像颜色就越易失真; 但 σ 取值越大时, 图像细节增强效果越不明显, 但增强后图像的色感一致性就越好. 当 σ 取值适宜时, 可以在两者中寻找平衡.

多尺度 Retinex(MultiScale Retinex, MSR)是为了解决 σ 参数不好选取的问题而出现的, 多尺度算法如下式:

$$R_i(x, y) = \sum_{k=1}^k w_k (\log S_i(x, y) - \log(S_i(x, y) * G_i(x, y))) \quad (5)$$

式中, $i, S_i(x, y), G_i(x, y)$ 的含义同式(2), w_k 表示是与 $G_i(x, y)$ 相关的权重, k 表示尺度个数. k 越大尺度个数就会越多, 带来的后果是运算速度会越慢. 为了加快处理速度, 本文选用的是单尺度 Retinex 算法.

3 双边滤波器

图像在获取的过程中会引入噪声, 尤其是加性高斯噪声. 传统的雾天降质图像增强算法, 会在增强细节的同时也会增大噪声, 使得处理效果变差, 于是本文结合了双边滤波器的方法.

3.1 双边滤波器原理

双边滤波主要思想是: 在图像的值域上做传统滤波器在空域上做的工作^[11]. Overton 等人思想基

础上设计出来的非线性滤波器。双边滤波器同高斯滤波器不同之处在于双边滤波器的加权系数 $w(i, j)$ 是由两个因子的乘积得到。其中一个因子称之为空间邻近度因子 $w_s(i, j)$, 它由像素的空间位置决定; 另一个因子称之为亮度相似度因子 $w_r(i, j)$, 它由像素间的亮度值之差决定^[12]。

滤波的主要目的就是含噪声图像 $g(x, y)$ 恢复出无噪图像 $f(x, y)$, 双边滤波可表示为

$$f(x, y) = \frac{\sum_{(i,j) \in S_{x,y}} w(i, j) g(i, j)}{\sum_{(i,j) \in S_{x,y}} w(i, j)} \quad (6)$$

式中, $S_{x,y}$ 是以 (x, y) 为中心的 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的邻域; $w(i, j) = w_s(i, j) \times w_r(i, j)$, 这里 $w_s(i, j) = e^{-\frac{(i-x)^2 + (j-y)^2}{2\sigma_s^2}}$, $w_r(i, j) = e^{-\frac{[g(i, j) - g(x, y)]^2}{2\sigma_r^2}}$ 。

双边滤波器有三个参数: $S_{x,y}$ 的邻域大小, 邻域越大, 平滑作用越强; 参数 σ_s 和参数 σ_r , 分别控制着空间邻近度因子和亮度相似度因子的衰减程度。双边滤波器的处理结果主要取决于参数 σ_s 和参数 σ_r 。

3.2 双边滤波器加速

直接采用双边滤波器算法, 计算量较大, 很难达到实时性, 故需要对其进行加速。

①分离高斯核的方法

高斯函数可以写成可分离的形式, 因此可以采用可分离滤波器来实现。但在图像边缘分布着坐标系的地方会产生人工的痕迹。

②使用 3D 直方图

其算法的思想是利用多个部分直方图来合成一个完整的直方图, 相邻列可以并行处理, 相邻行之间的改变也大大缩小了; 并且在直方图的排序时采用基数排序来代替传统的快速排序。

③基于 FFT 加速的方法

虽然双边滤波不是卷积, 但是可以通过其它方法(如双边滤波可以在更高维空间中表示成卷积)表示成卷积。于是可以通过 FFT 转换到频域进行计算, 加快了速度。

4 本文算法

首先把图像从 RGB 颜色空间转换到 HSI 颜色空间, 然后用 Retinex 估计出亮度 I 的光照分量 $L(x, y)$, 对 $L(x, y)$ 求均值得到 $l(x, y)$

$$l(x, y) = \frac{1}{HW} \sum_{x=1}^H \sum_{y=1}^W L(x, y) \quad (7)$$

式(7)即为求取均匀分布的雾气遮罩度。

但是, 当场景雾气分布跟深度相关时, 这样的雾气遮罩度估计, 将会产生严重的失真。因此, 为了获取与场景深度有关的雾气遮罩度, 我们将获得的平均雾气遮罩度与亮度 I 相乘, 并进行适当的修正, 即可作为与场景深度有关的雾气遮罩度。该过程可用下式表示。

$$l'(x, y) = 1 - I(x, y) \times l(x, y) \quad (8)$$

用亮度 I 分量除去雾气遮罩度 $l'(x, y)$, 即可得到亮度 I 的反射分量 $r'(x, y)$, 也即除去雾气影响的亮度 I 值。该过程用下式表示。

$$r'(x, y) = \exp\{\log[L(x, y)] - \log[l'(x, y)]\} \quad (9)$$

但是相关实验结果表明, 这样经简单处理所得到的亮度 I 的反射分量并不理想, 为此本文提出首先把雾气遮罩度 $l'(x, y)$ 取反后经过双边滤波处理得到 $l'_b(x, y)$; 然后用雾气遮罩度取反后减去 $l'_b(x, y)$, 得到雾气遮罩度的反射分量 $l'_d(x, y)$,

$$l'_d(x, y) = \exp\{\log[1 - l'(x, y)] - \log l'_b(x, y)\} \quad (10)$$

把 $l'_d(x, y)$ 和亮度 I 的反射分量 $r'(x, y)$ 相融合, 得到增强后的亮度 I 图像 $I'(x, y)$, 本文选用简单的线性相加融合,

$$I'(x, y) = a \times l'_d(x, y) + b \times r'(x, y) \quad (11)$$

式中, a, b 为常数, 本文中 a 取 0.3, b 取 0.7; $I'(x, y)$ 为增强后的亮度 I 的图像。最后 $I'(x, y)$ 归一化到 0 到 1 区间, 即可得到增强后亮度 I 的图像。

如果得到亮度 I 图像后, 直接转换到 RGB 空间, 这样得到的图像颜色偏淡, 失真较严重。所以本文提出对饱和度 S 进行线性拉伸。

$$s'(x, y) = \frac{s(x, y) - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \quad (12)$$

式中, $s(x, y)$ 为饱和度图像, Max 为饱和度图像的最大像素值, Min 为饱和度图像的最小像素值, $s'(x, y)$ 为线性拉伸后的饱和度图像。

最后, 转换到 RGB 空间, 即可得到增强后的图像。

本文算法的总体流程如下:

① 把原图从 RGB 空间转换到 HSI 空间。

② 用单尺度 Retinex 提取亮度 I 分量的光照分量 $L(x, y)$, 然后求光照分量的平均值 $l(x, y)$; 再用 $l(x, y)$ 和亮度 I 分量相乘, 再取反, 即为与场景深度相关的雾气遮罩度 $l'(x, y)$ 。

③ 亮度 I 分量除去雾气遮罩度 $l'(x, y)$, 结果为亮度 I 分量的反射分量 $r'(x, y)$ 。

④ 用双边滤波处理雾气遮罩度 $l'(x, y)$, 得到

$l_b(x,y)$. 然后用式(10), 可得雾气遮罩度的反射分量 $l_d(x,y)$.

- ⑤ 把 $l_d(x,y)$ 和亮度 I 的反射分量 $r'(x,y)$ 相融合, 得到增强后的亮度 I 图像 $I'(x,y)$.
- ⑥ 对饱和度 S 用式(12) 进行拉伸.
- ⑦ 转换到 RGB 空间, 即为所增强的图像.

5 实验结果及分析

本文实验选用两幅在雾天环境下拍摄得到的图像, 分别用两种方法对这两幅图像的亮度 I 分量进行处理. 第一种方法, 是直接把两幅图像的亮度 I 分量的反射分量 $r'(x,y)$ 作为增强后的亮度 I 分量, 即

没有加入双边滤波器这个过程; 第二种方法, 是把用双边滤波器得到雾气遮罩度的反射分量 $l_d(x,y)$ 和亮度 I 分量的反射分量 $r'(x,y)$ 融合后, 作为增强后的两幅图像的亮度 I 分量, 即 $I'(x,y)$. 本文考虑双边滤波的运算速度和处理效果, 选 $S_{x,y}$ 的邻域为 11×11 , σ_r 取 3, σ_g 取 0.06, 可到较好的效果.

表 1 是对分别计算得到的两幅图用两种方法的均值、相对平均梯度(反映图像的清晰度)和熵. 由表中数据可以看出, 加入双边滤波后的增强算法, 增强后图像的均值、相对平均梯度和熵都比未加入双边滤波的增强算法处理后图像的相应值都有提高. 因此, 加入双边滤波后的增强算法, 效果更好.

表 1 对亮度分量处理的对比结果图

	均值		相对平均梯度		熵	
	未用双边滤波的算法	加入双边滤波的算法	未用双边滤波的算法	加入双边滤波的算法	未用双边滤波的算法	加入双边滤波的算法
第一幅图像	0.589 1	0.603 7	0.013 0	0.019 1	7.253 6	7.550 3
第二幅图像	0.354 3	0.383 6	0.025 3	0.026 3	6.774 5	6.991 1

实验比较了用单尺度 Retinex 对图像亮度 I 分量进行增强, 然后对饱和度 S 进行线性拉伸的增强算法和本文所提到的增强算法. 单尺度 Retinex 的 σ 选取中间尺度, 本文选取 80. 实验结果如表 2 所示.

表 2 所示为对两幅图像分别用上述两种增强算法处理后将其转换到灰度图像, 分别求其均值、相对平均梯度和熵. 由表 2 可以看出, 经本文算法增强后的图像更加清晰.

表 2 实验结果比较

	均值		相对平均梯度		熵	
	Retinex+饱和度拉伸	本文算法	Retinex+饱和度拉伸	本文算法	Retinex+饱和度拉伸	本文算法
第一幅图像	0.677 9	0.640 5	0.015 3	0.020 3	6.939 0	7.504 2
第二幅图像	0.448 7	0.428 6	0.024 1	0.027 9	7.169 5	7.066 4

6 结束语

传统的 Retinex 理论假设光照是平缓变化的, 易产生光晕现象. 本文提出双边滤波和传统单尺度 Retinex 相结合的算法, 改善了传统单尺度 Retinex 图像增强后光晕缺点; 针对传统单尺度 Retinex 易使增强后图像颜色偏暗, 本文提出在 HSI 空间对饱和度 S 进行线性拉伸. 实验结果表明, 与传统单尺度 Retinex 算法相比, 本文所提出的去雾算法, 去雾后图像颜色更自然, 细节更清晰.

参考文献:

[1] Oakley J P, Satherley B L. Improving image quality in poor visibility conditions using a physical model for contrast degradation [J]. IEEE Transactions on Image

Processing, 1998, 7(2):167-179.
[2] Fattal R. Single image dehazing[J]. ACM Transaction on Graphics, 2008, 27(3): 72-79.
[3] Tan K, Oakley J P. Enhancement of color images in poor visibility conditions[C]// International Conference on Image Processing. Vancouver: IEEE Press, 2000: 788-791.
[4] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[C]//Pro of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, 2009:1956-1963.
[5] 储昭辉, 汪荣贵, 方帅. 基于 Retinex 理论的小波域雾天图像增强算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(15):175-179.
[6] Land E. The retinex[J]. American Scientist, 1964, 52(1):247-264.

(下转第 50 页)

分类正确率, 其中 N 表示约简后的条件属性个数;
 P 代表分类的正确率.

表 3 约简结果与分类正确率

数据集	2.1 节方法		2.2 节方法		改进方法		经典正域	
	P	N	P	N	P	N	P	N
wine	91.01	7	93.76	7	94.38	7	90.83	7
glass	97.26	8	98.13	8	98.19	8	97.21	8
abalone	54.38	6	54.66	6	55.76	6	53.51	6

从表 3 所得的数据可以看出, 利用本文改进的方法来进行决策表属性约简, 进而用约简后的属性进行决策表的分类, 分类的正确性上优于其他的几种方法. 说明了改进方法的有效性.

6 结束语

本文在已有正域扩展的方法上进行了改进, 通过引入抖动率, 来控制扩展的正域含有较多噪声数据的问题. 从表 2 的对比数据中可以看出, 本文改进的方法能够有效的去除正域扩展的过程中产生的噪音数据. 最后通过实验的数据对比说明了改进方法的有效性.

参考文献:

[1] Zhang M, Yao J T. A rough sets based approach to feature selection, fuzzy information[C]// Processing NAFIPS' 04. Canada: Waterloo University, 2004: 434-439.

[2] 王俊祥, 胡峰. 扩展正区域的属性约简方法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(34): 145-148.

[3] Ziarko W. Variable precision rough sets model[J]. Journal of Computer and System Sciences, 1993, 46(1): 39-59.

[4] 冯林. 一种扩展正域的属性约简方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(21): 62-64.

[5] Wang Guoyin, Wang Yan. 3DM: Domain oriented data-driven data mining[J]. Fundamenta Informatices, 2009, 90(4): 395-426.

[6] Chang Chihchung, Lin Chihjen. LIBSVM : a library for support vector machines[EB/OL]. (2012-11-06) [2013-01-10]. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.

作者简介:

苗碧舟 男, (1987-), 硕士研究生. 研究方向为网络与通信.

(上接第 46 页)

[7] Marsi S, Impoco G, Ukovich A. Using a recursive rational filter to enhance color images[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(6): 1230-1236.

[8] 纪则轩, 陈强. 基于双边滤波的单尺度 Retinex 图像增强算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(10): 99-102.

[9] 李学明. 基于 Retinex 理论的图像增强算法[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(2): 235-237.

[10] Kimmel R, Elad M, Shaked D, et al. A variational framework for retinex [J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(1): 7-23.

[11] 戚晓伟, 陈秀宏. 改进的 Otsu 方法的双边滤波边缘检

测算法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(31): 150-154.

[12] 张志强, 王万玉. 一种改进的双边滤波算法[J]. 中国图像图形学报, 2009, 14(3): 443-447.

作者简介:

刘 松 男, (1987-), 硕士研究生. 研究方向为图像增强、图像匹配等.

孙 东 男, (1982-), 博士研究生, 讲师. 研究方向为图像增强、图像识别等.

卢一相 男, (1980-), 博士研究生, 讲师. 研究方向为图像增强、图像识别等.