

文章编号: 2095-4980(2016)02-0287-06

基于 YUV 色彩空间的暗原色单幅图像去雾改进算法

张 鹏¹, 陶青川¹, 黄凤英²

(1.四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065; 2.78009 部队, 四川 成都 610066)

摘 要: 为得到更清晰的复原图像, 提出了一种基于暗原色先验理论图像去雾的改进算法。先将原始雾天 RGB 图像转化到 YUV 色彩空间, 在 Y(Luminance)通道中, 对像素点进行区域划分, 只使用属于同一区域的像素点来计算该方块的暗原色, 同时在 Y 通道计算大气光值; 最后, 通过修正复原图像的计算公式, 来校正亮区域色彩失真。与基于引导滤波及 RGB 色彩空间的暗原色去雾算法相比, 本文算法具有更好的去雾效果。

关键词: 图像去雾; 暗原色先验; 分段暗原色; 亮区域校正

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201602.0287

An improved approach on single image dehazing using modified dark channel prior in YUV color space

ZHANG Peng¹, TAO Qingchuan¹, HUANG Fengying²

(1.School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China;

2.Unit 78009, Chengdu Sichuan 610066, China)

Abstract: An improved approach on single image dehazing is proposed in order to obtain clearer restored images. Firstly, the source images are converted into YUV color space, and then, pixels are divided into different areas, only those pixels belong to the same areas in Y channel are used to calculate Dark Channel, and the air light value are also calculated in Y Channel. Finally, the distortion of bright area is adjusted through modifying the formula by which the restored image is calculated. Compared with those algorithms based on dark channel prior with guided filter in RGB color space, this algorithm is more effective.

Key words: image dehazing; dark channel prior; segmenting dark channel; bright area modification

由于大气粒子的散射作用, 在雾、霾等天气下摄像机捕获到的图像普遍存在图像色彩失真和对比度退化等现象。这些现象既影响了图像的视觉效果, 又给图像的后续分析和处理带来了困难, 因此, 有效而快速的去雾算法具有很高的实际应用价值。

单幅图像去雾算法的研究在近年来取得了一些重大突破。TAN^[1]等利用最大化局部差异的原理来复原退化的雾天图像的色彩信息, 但算法只增强了图像颜色的对比度, 适用性不高。FATTLE^[2]等提出了一种简单的去雾模型, 在部分场景取得了较好的效果; HE^[3]等依据大气散射模型, 提出了一种可以估算出图像相应的深度信息的暗原色先验算法, 该算法在单幅图像去雾上取得了较好的去雾效果, 并获得了广泛应用。虽然暗原色先验理论在单幅图像去雾的应用中取得了很大成功, 但暗原色先验理论本身存在一定的缺陷。首先, 在计算暗原色时, 如果图像中存在天空等大片亮区域, 则暗原色先验原理将不再适用, 因为这些区域的任意通道中可能都不存在像素值接近 0 的像素点; 其次, 使用 15×15 的区域逐点计算暗原色时, 不可避免地会出现“halo”效应, 而使用“软抠图”细化时, 时间代价太大。此外, 单独在 R,G,B 通道对像素点分别处理, 由于图像色彩的相关性, 容易造成复原图像颜色的失真。为改善上述问题, 本文首先将 RGB 图像转化到 YUV 色彩空间, 在 Y 通道计算暗原色和大气光值, 在计算暗原色时, 对像素点进行区域划分, 只使用属于统一区域的像素点来计算该方块的暗原色, 降低“halo”效应带来的影响。在复原图像时, 通过修正亮区域计算公式, 来改善原方法中存在的亮区域失真问题。

收稿日期: 2015-12-08; 修回日期: 2016-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61471248)

1 算法描述

1.1 大气散射模型

大气中粒子的散射作用是雾天图像退化的本质,成像设备接收到的光既包括被大气粒子散射衰减后的原始场景的反射光,也包含部分被散射的大气自然光。该模型^[4]用公式可描述为:

$$I(x) = J(x)t(x) + (1-t(x))A \quad (1)$$

式中: $I(x)$ 为成像设备所接收到的光强度,即成像设备接收到的雾天图像; A (airlight)为大气光照的强度; $J(x)$ 表示需要复原的无雾图像; $t(x)$ 表示透过率。

1.2 暗原色去雾理论

HE^[3]提出:在绝大多数的无雾图像的局部区域里,该区域像素值强度的最小值是一个很小的数,即暗原色先验理论。定义:

$$J^{\text{dark}}(x) = \frac{\min}{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min}{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right] \quad (2)$$

式中: J^c 定义为各颜色通道中的任意一个; $\Omega(x)$ 定义为以 x 为中心的矩形区域,根据暗原色先验理论, $J^{\text{dark}}(x)$ 的值总是趋近于 0。

式(1)两边同时除以 A 并进行最小值滤波,然后在 3 个颜色通道中取最小值可得:

$$\frac{\min}{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min}{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right] = \frac{\min}{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min}{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right] t(x) + [1-t(x)] \quad (3)$$

由暗原色先验理论可知:

$$\frac{\min}{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min}{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right] \approx 0 \quad (4)$$

将式(4)代入到式(3)可得:

$$t(x) = 1 - \frac{\min}{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min}{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right] \quad (5)$$

为使图像在视觉上更协调,需对雾进行适当的保留,在式(5)中引入常数来表示去雾程度 ω , 本文取 0.95。于是得到:

$$t(x) = 1 - \omega \frac{\min}{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min}{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right] \quad (6)$$

对于式(6)中计算得到的透过率, HE^[3]使用“软抠图”来细化,但该方法时间代价太大,现多使用引导滤波^[5-7]来代替“软抠图”,得到透过率后,由式(7)可复原最终的无雾图像。

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (7)$$

式中 t_0 为防止透过率过低而造成复原图像失真引入的阈值,取 0.1。

对于常量 A (大气光强度)的计算, HE^[3]先取暗原色 $J^{\text{dark}}(x)$ 中亮度值最大的前 0.1%, 然后以这些像素点对应在原图中的最大值作为 A 的值。

虽然暗原色先验理论在图像去雾上取得了较大突破,但该算法也存在明显的缺陷,在有天空、灯光等亮区域存在的图像中,可能存在某些区域的最小值并不趋近于 0,即不存在暗原色,使用该方法得到的部分复原图像存在色彩失真;同时,在计算暗原色时使用 15×15 的矩形块,可能使在原图中并不属于同一物理区域的点使用同一个点的暗原色,加剧“halo”效应。

1.3 改进算法

1.3.1 在 YUV 色彩空间按区域计算暗原色

相对于 RGB 色彩空间, YUV 色彩空间更加侧重于描述人眼对于亮度的敏感程度,更重要的是,在 YUV 色彩空间, Y 通道(亮度通道)和 U 通道、V 通道(色度、色调通道)是分离的,在计算暗原色时,本文只对图像的亮度分量(Y 通道)进行计算,而不改变图像的颜色分量(U,V),这样既改变了图像的清晰度,又保留了图像原有的色

彩信息。

HE^[3]采用 15×15 的矩形计算中心点的暗原色,但该方法会使在原图中不属于同一物理区域的点具有同样的暗原色,增加“halo”效应,在细化滤波时,也可能造成失真。

BUI T M 提出分区域的暗原色^[8]计算方法：在进行 15×15 的最小值滤波时，加上限定条件，即只计算与矩形中心像素点属于同一区域的像素点的大小，与中心不属于同一区域的像素点不计算。原文^[8]使用的限定条件为：

$$\left| \frac{I_m(u, v) - I_m(x, y)}{I_m(x, y)} \right| < \xi \quad (u, v) \in \Omega(x, y) \quad (8)$$

由于

$$0 < 1 - \frac{\min_{c \in \{r, g, b\}} \left[\frac{\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right]}{1} < 1 \quad (11)$$

由式(10)、(11)可知,在亮区域中,真实的透过率 $t_{\text{real}}(x)$ 必然大于由 HE^[3]所提方法得到的透过率 $t(x)$ 。因此在对这些亮区域进行复原时,需要重新调整透过率,使 $t(x)$ 更符合透过率的真实值 $t_{\text{real}}(x)$ 。本文提出动态容差阈值,若 $|I(x) - A|$ 的值小于 $A \times \xi$,则判定该点为亮区域,修正该点的初始透过率;若 $|I(x) - A|$ 的值大于等于 $A \times \xi$,则判定该点满足暗原色先验理论,不修正初始透过率。因此本文对式(7)做如下修正:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\min \left[\max \left(\max \left(\frac{A \times \xi}{|I(x) - A|}, 1 \right) \times t(x), t_0 \right), 1 \right]} + A \quad (12)$$

式(12)中,若 $|I(x) - A|$ 的值小于 $A \times \xi$,则该点为亮区域,需要修正原始的计算公式, $\max(\frac{A \times \xi}{|I(x) - A|}, 1)$ 将得到大于 1 的值, $\max(\frac{A \times \xi}{|I(x) - A|}, 1) \times t(x)$ 将得到大于原始 $t(x)$ 的值,而 $\min \left[\max \left(\max \left(\frac{A \times \xi}{|I(x) - A|}, 1 \right) \times t(x), t_0 \right), 1 \right]$ 将确保透过率是不会大于 1 的值。通过 ξ 将 $A \times \xi$ 的值限定在一个较小的范围内,本文 ξ 取 0.2。实验证明,该方法具有较好的实验效果。

2 实验效果与分析

本文实验基于一台 CPU 为 2.6G Pentium(R) Dual-Core CPU E5300 Processor、操作系统为 Windows 7 的 PC 机,使用软件为 Matlab2013a。 ξ 的值取 0.2。实验效果对比见图 4。

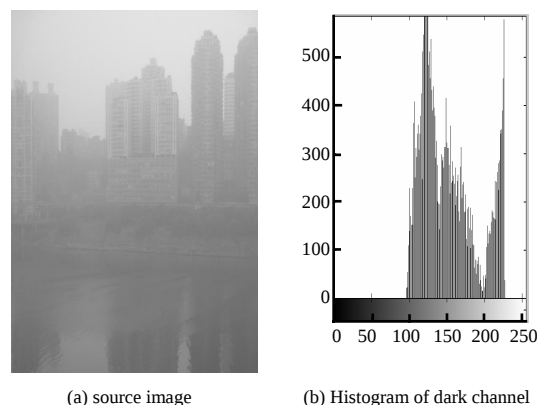


Fig.3 Source image and histogram of dark channel
图 3 原始图像与该图暗原色的直方图

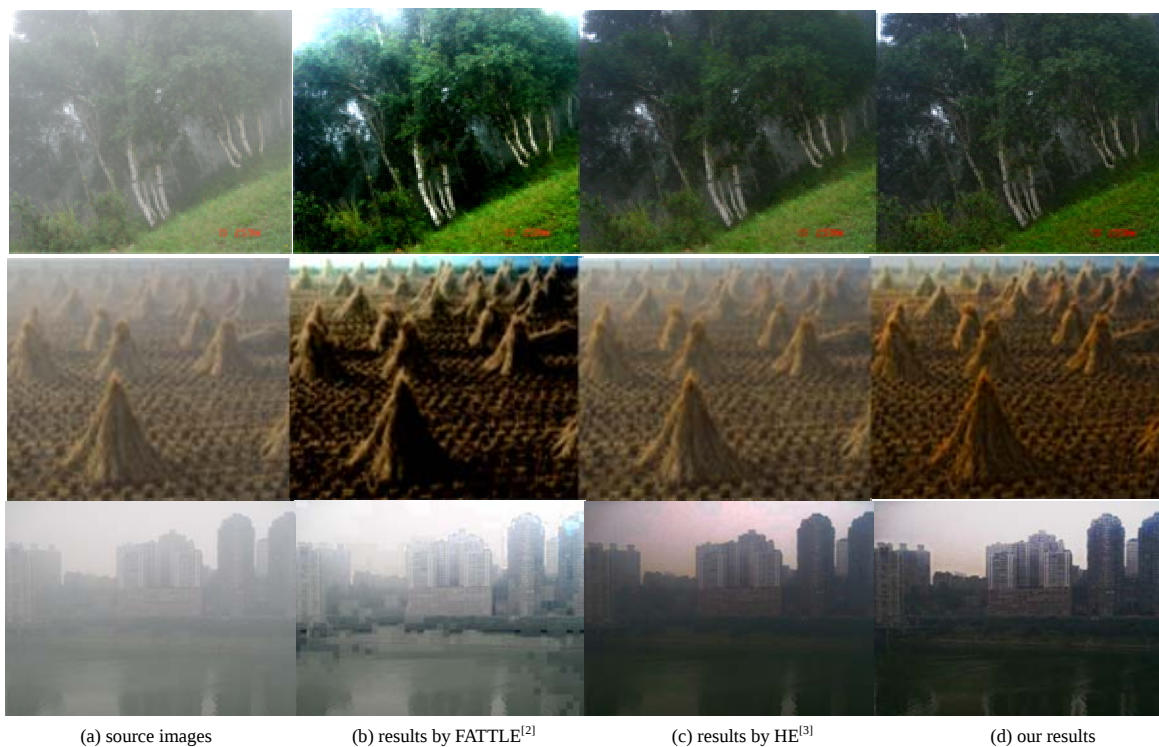


Fig.4 Results comparison
图 4 实验效果对比

从实验对比中不难发现:本文和 HE^[3]所用方法相对于 FATTLE^[2]所用方法视觉效果更佳,同 HE^[3]所用方法相比,本文方法去雾更彻底,对于图像中含有天空等亮区域的有雾图像,本文算法能够有效地改善 HE^[3]方法所带来的失真。

BRENNER 函数^[9]通过图像计算相差 2 个单位的像素的灰度差来对图像所含的细节信息进行评判,其值越大,表明图像纹理信息越丰富,即图像的去雾效果更佳,用公式描述为:

$$B(I) = \frac{1}{height \times width} \sum_1^{height} \sum_1^{width} [I(x+2, y) - I(x, y)]^2 \quad (13)$$

本文使用 BRENNER 函数来对原始图像、HE^[3]方法复原图像以及本文复原图像进行比较,如表 1 所示。

表 1 BRENNER 评价标准

Table1 BRENNER evaluation criterion

	B(I)		
	picture(a) in Fig.4	picture(b) in Fig.4	picture(c) in Fig.4
source picture	88.480 2	190.718 3	11.484 3
HE	184.369 9	262.045 8	35.168 7
proposed method	692.515 4	508.275 2	116.773 2

由表 1 可知,本文方法对于提升图像的细节信息有较好的效果,同时保留了原始图像的色彩信息,不会造成去雾后色彩失真的现象。

在时间代价上,相比使用引导滤波的暗原色去雾算法,本文唯一多出的环节是将 RGB 图像转化到 YUV 色彩空间,时间对比见表 2(表 2 中 HE 算法所用的时间为使用引导滤波代替“软抠图”进行细化滤波后算法的时间)。

表 2 时间对比

Table2 Time comparison

	t/s		
	picture(a) in Fig.4(662×498)	picture(b) in Fig.4(452×376)	picture(c) in Fig.4(720×480)
HE	3.48	2.98	3.90
proposed method	4.23	3.32	4.82

由表 2 可以看出,本文算法与使用引导滤波的暗原色去雾算法相比,在时间代价上并没有明显的劣势,时间复杂度均为 $\Omega(N)$,其中 N 为图像中像素点的总个数,但在去雾的效果上,本文算法更优。

3 结论

本文在对暗原色先验去雾理论进行学习和实验的基础上,分析了其存在的缺陷,并利用 YUV 色彩空间色彩和亮度信息分离的条件,将暗原色先验原理应用到 YUV 色彩空间,同时对于属于不同的物理区域的像素点加以区分,减小边缘效应带来的失真;最后提出动态容差,消除亮区域对复原图像造成的失真,多例实验证明,本文方法对于图像去雾具有较好的效果。但从时间代价上看,本文方法对于图 4 中最后一组 720×480 大小的图像,时间代价达到 4.82 s,不适于高清图像的实时去雾,对于图像实时去雾的有效算法,还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] TAN R. Visibility in bad weather from a single image[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage,USA:IEEE, 2008:1-8.
- [2] FATTAL R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008,27(3):1-9.
- [3] HE K,SUN J,TANG X O. Single image hazy removal using dark channel prior[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami,USA:IEEE, 2009:1956-1963.
- [4] HAUTIERE N,TAREL J P,LAVENENT J,et al. Automatic fog detection and estimation of visibility distance through use of an onboard camera[J]. Machine Vision and Application, 2006,17(1):8-20.
- [5] HE K,SUN J,TANG X O. Guided image filtering[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6):1397-1405.
- [6] 方帅,杨静荣,曹洋,等. 图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法[J]. 中国图像图形学报, 2012,17(7):748-755. (FANG Shuai,YANG Jingrong,CAO Yang,et al. Local muti-scale Retinex algorithm based on guided image filtering[J]. Journal of Image and Graphics, 2012,17(7):748-755.)
- [7] 唐鉴波,江铁,王田. 基于引导滤波的单幅图像去雾算法研究[J]. 科学与工程, 2013,13(11):3021-3025. (TANG Jianbo,JIANG Tie,WANG Tian. Research on single image dehazing using guided filtering[J]. Science Technology and Engineering, 2013,13(11):3021-3025.)

- [8] BUI T M, TTAN H N, KIM W, et al. Segmenting dark channel prior in single image dehazing[J]. Electronics Letters, 2014, 50(7):516-518.
- [9] BRENNER J F, DREW B S, HORTON J B, et al. An automated microscope for cytological research: a preliminary evaluation[J]. Histochemistry and Cytochemistry, 1976, 24(1):100-111.

作者简介:



张 鹏(1990-), 男, 四川省南充市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为计算机应用与图像识别, email: 1005574059@qq.com.

陶青川(1972-), 男, 四川省成都市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为图像处理、机器视觉、模式识别.

黄凤英(1978-), 男, 重庆市璧山县人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信系统与信号处理.

2016年第八届中国国际军民两用电子信息技术展览会暨军民融合创新发展论坛邀请函

各有关单位:

为深入贯彻党中央、国务院提出的加快实施创新驱动的发展战略, 推动军民融合深度发展, 由中国电子科技集团公司、中国电子信息产业集团有限公司、中国雷达行业协会、江苏省和平利用军工技术协会主办, 会同航天、航空、电子、兵器、船舶、核工业等军工集团院所, 企业、相关学会、协会等共同筹办的“第八届中国国际军民两用电子信息技术展览会”, 将于2016年7月6日至8日在江苏省南京市国际展览中心举行。

本届展会以“创新驱动、融合发展”为主旨, 开设雷达技术与装备、雷达应用系统、无人机技术创新及应用系统、军民两用电子与信息化、卫星通信、微波器件、新材料、智能装备等涵盖电子信息产业的军转民技术和产品、民技军用技术和产品及装备等方面专业领域。展馆面积近15000平方米, 预计将有500多家展商参展。

展会期间, 我们将举办军民融合创新发展论坛、军民融合创新技术协同交流论坛、大数据论坛、企业推介、高新项目发布会、军工采购供求发布等活动, 军地上级政府机关、院校、研究所、企业等市场、技术、管理、质量、采购和供应部门都将派人来参观、采购。

诚邀国内外相关领域的军地各大院校、研究所、国企和民营企业前来参展。

参展联系人: 闫瑞华

手机: 13801174492

电话/传真: 010-68652457

展览会网址: <http://www.radar2016.icoc.in/>

电子邮箱: radardata@126.com

中国国际军民两用电子信息技术展览会组委会

2016年2月8日