

# 基于暗原色先验与小波变换的图像去雾方法

许 杰,杨会成

(安徽工程大学 电气工程学院,安徽 芜湖 241000)

**摘 要:**针对雾天采集图像清晰度差、对比度低的问题,提出一种基于暗原色先验与小波变换的图像去雾方法。先利用暗原色先验规律直接从一幅有雾的图像中估计出景物透射率,恢复出比较清晰化的图像;再将图像由 RGB 空间转换到 YUV 空间,对亮度  $Y$  图像采用正交 Haar 小波变换进行处理,得到小波各层的分解系数,利用阈值滤波的细节系数增强法对雾天图像的高频子带小波系数进行处理,经小波重构得到增强后的亮度  $Y$  图像,最后与颜色分量  $U$ 、 $V$  合并得到清晰化的雾天图像。实验结果表明:该方法对雾天模糊图像处理后,能有效提高图像的清晰度、细节和层次感,一定程度上改善了图像的视觉效果,是一种有效的雾天图像清晰化方法。

**关键词:**小波变换;图像清晰化;暗原色先验法;小波分解;阈值去噪

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)02-0066-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.02.015

## A Defogging Method for Image Based on Binding Prior Dark Colors and Wavelet Transform

XU Jie, YANG Hui-cheng

(School of Electric Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** For poor visibility and low contrast in fog image, a defogging method was proposed based on wavelet transform and dark channel prior colors. First use of dark colors rule estimates the scene transmittance rate directly from a foggy image, recovering relatively clear picture. Then the image space is converted from RGB to YUV, the bright  $Y$  image was processed by using orthogonal Haar wavelet, obtaining coefficients of each layer, and use of detail coefficients image enhancement method to process high frequency sub-band wavelet coefficients, luminance  $Y$  images were enhanced after wavelet reconstruction. Finally, the color components  $U$ ,  $V$  are merged to get a clear picture with the fog color. The results show that the method, which is effective, is applied to image after fog, the clearance, detail and layering has been improved significantly, to some extent improved visual effects.

**Key words:** wavelet transform; image clarity; dark colors priori method; wavelet decomposition; threshold denoising

## 0 引 言

雾天拍摄图像时,图像因受雾气的干扰,所获得的图像质量存在退化现象,变得模糊。因此,如何消除或减弱雾天给图像带来的影响,使雾天获得的户外图像更加清晰,具有重要的实际意义。

目前,雾天图像清晰化的方法<sup>[1-15]</sup>主要有两种:

第一种是基于物理模型的图像去雾算法。其主要是从雾天图像的物理成因着手,通过改进视觉成像和大气散射等物理模型来进行图像去雾。但要提高退化图像的保真度,需要配合精密传感仪器来获取所需参数,建立模型求解,这在实际应用操作时具有一定局限

性。Tan 等<sup>[16]</sup>基于图像降质过程中潜在的物理特性,从图像数据中估计出的参数来校正图像颜色,有效抑制图像对比度失真,但是忽视了光线透射率,处理后的图像的部分色彩会出现过饱和。

第二种是基于图像处理<sup>[13-15]</sup>的图像去雾方法。通过统计雾天降质图像的时间域和频率域特性,选取适当算法来提高图像清晰度,使复原图像更适合人的视觉特性或机器识别系统,但受景深影响严重,图像对比度较差。

近年来,He 等<sup>[3]</sup>提出一种简单有效的基于 dark channel prior 模型的图像去雾方法。此模型是建立在户外无雾图像数据库的统计基础上,对单幅图像去雾

效果明显,但是在实际处理过程中占用内存较大,耗时太久,处理效率低。之后郭珈<sup>[4]</sup>、刘锐<sup>[5]</sup>、杨靖宇<sup>[6]</sup>、李坤<sup>[7]</sup>等提出的各种基于暗原色先验规律的算法,都是以 dark channel prior 模型为基础,在实际处理过程中都得到了较好的效果,只是算法的局部矫正功效不大。而高仕龙<sup>[10]</sup>、马云飞<sup>[11]</sup>、吴强<sup>[12]</sup>、芮义斌<sup>[13]</sup>等基于小波变换的相关算法,通过结合算子进行小波重构获得的图像清晰度得到大大加强,但噪声增强现象也较严重。

文中在已有研究成果的基础上,提出一种基于暗原色先验和小波变换的图像去雾方法,有效提高了图像去雾效果。针对雾天图像对比度低的特点,首先利用暗原色先验规律估计出雾天图像透射率,恢复相对清晰图像;然后对得到的图像利用小波变换进行分解,获取各层高频系数;再通过极大极小值原理选取阈值,并对这些高频系数进行处理;最后将修改后的高频系数与低频系数进行小波重构,获得最终的重构雾天清晰化图像。

## 1 暗原色先验去雾方法

文中采用 McCarney 大气散射模型,根据光在雾天传输的物理特性,其描述为:

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

式中,  $x$  为图像上点的坐标位置;  $I(x)$  为观察到的带雾场景图像;  $t(x)$  为光线透射率,反映了光穿透雾的能力;  $J(x)$  为场景辐射率,即要恢复的真实图像;  $A$  为观测者视线方向无穷远处的光强;  $t(x)J(x)$  为景物的直接衰减项;  $(1 - t(x))A$  为大气光成分。

式(1)揭示了图像退化的原因,包含了雾光对图像对比度和颜色方面的影响。而去雾的目的就是从观测图像中的  $I$  恢复出景物光线  $J$ 。

He Kaiming 等基于大量户外无雾图像的统计规律发现了暗原色先验理论。该理论发现,在绝大多数无雾图像的任意局部小块中,总存在某些像素,它们在某一个或几个颜色通道的强度值很小,接近于零,即

$$J_{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J_c(y)) \right) \quad (2)$$

式中,  $J_{\text{dark}}$  称为图像  $J$  的暗原色 (dark-channel pixel);  $\Omega(x)$  是以  $x$  为中心的局部块区域;  $J_c$  为  $J$  的  $R, G, B$  三通道中的一个颜色通道。

在被雾干扰的图像中,雾将导致暗原色被大气中的白光成分充斥而变得灰白,导致这些暗原色的强度值变高,而雾图中暗原色的强度和透射率有关,可据此估测透射率。

假设大气光成分  $A$  已知,且在局部区域  $\Omega(x)$  内,透射率保持一致,记作  $\tilde{t}(x)$ 。对方程(2)两边进行取

最小运算,可以求出雾天图像  $R, G, B$  三通道的暗原色值:

$$\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right) = \tilde{t}(x) \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{J_c(y)}{A_c} \right) \right) + (1 - \tilde{t}(x)) \quad (3)$$

由于  $A_c$  恒为正,得:

$$\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{J_c(y)}{A_c} \right) \right) = 0 \quad (4)$$

联立上两式得到透射率  $\tilde{t}(x)$  的估计公式:

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right) \quad (5)$$

He Kaiming 通过暗原色来估测大气光  $A$ : 首先选取暗原色中亮度最高的 0.1% 像素在输入图像  $I$  中对应的最大亮度值,作为大气背景光  $A$  的估计值。同时为减少噪声影响,加入一个参数  $\omega$  ( $0 < \omega \leq 1$ ),即

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{I_c(y)}{A_c} \right) \right)$$

在计算得到大气光  $A$  和透射率  $t$  后,利用  $J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A$  就可以恢复场景辐射。其中,  $t_0$  是透射率设定的下限值,目的是为了避开去雾结果中包含噪声。

## 2 小波变换

小波变换是近年来应用数学和工程学科中一个迅速发展的新领域。小波变换具有良好的时频局部性,通过伸缩和平移运算对信号逐步进行多尺度细化,因而可有效地从信号中提取信息,可聚焦到信号的任意细节,是时间—尺度分析和多分辨率分析的一种新技术。

在众多正交函数中,文中选取 Haar 小波函数,因为它具有构造简单、计算简单、对应的滤波器有线性相位性等特点。Haar 小波函数的定义如下:

$$J(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq x < 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

Haar 小波尺度函数  $J_j^i(x)$  为:

$$J_j^i(x) = J(2^j x - i), i = 0, 1, \dots, (2^j - 1)$$

其中,  $i$  为平移参数,改变  $i$  使函数沿  $x$  轴方向平移;  $j$  为尺度因子,改变  $j$  使函数图形缩小或者放大。

对暗原色先验获得的图像进行 Haar 小波标准分解: 分别用高通分解滤波器和低通分解滤波器先后作用于数字图像的行和列,可以实现图像的二维小波分解,在每一个分解尺度上都可以得到 LL, LH, HL 和 HH 4 个不同的次级子带。其中, LL 称为平滑子图,对应低频分量; HL, LH 和 HH 称为细节子图, HL 对应竖

直边缘,细节分量;LH 反映的是水平边缘,细节分量;HH 反映的是  $45^\circ$ 、 $135^\circ$  方向上的高频分量。如果对图像的低频分量继续作小波分解,就可以得到多个尺度的图像时频信息。

小波分解图如图 1 所示。

LL(3)	HL(3)	HL(2)	HL(1)
LH(3)	HH(3)		
LH(2)		HH(2)	
LH(1)			HH(1)

图 1 小波分解图

由于雾对图像的影响主要表现在中低频部分,因此,对雾天图像利用小波分解的层数越多,去雾效果越好。考虑到实际编程的难度和效果,选择分解 3 层。小波多层分解中,每一层的系数都是由上低频子带中分解而成。低层的高频子带中包含许多图像细节信号,高层的高频子带中包含相对较多的噪声信号,且集中分布在幅值较小的系数之中。因此选用极大极小原理选择信号消噪的阈值,产生一个最小均方误差的极值。利用此阈值对分解出的各层高频系数用软阈值处理。对处理后的高频系数结合低频系数进行小波重构,得到重构图像。

3 实验结果分析

为验证文中方法的有效性,通过 Matlab 软件编程实现对目标图像的去雾实验(见图 2~5)。由于暗原色先验去雾算法对计算机内存的高要求,为提高运行速度,应适当减小处理对象的尺寸。



图 2 原始(385×300)图像



图 3 暗原色先验去雾后图像

由以上几幅图可以看出,图 2 是待处理图像,其对比度和清晰度较低,有种“雾蒙蒙”的感觉;图 3 是利



图 4 小波变换处理亮度 Y 图像



图 5 文中方法去雾图像

用暗原色先验去雾方法处理后的图像,图片的对比度有明显提升,颜色的退化得到一定程度的修正;图 4 是利用小波变换处理亮度 Y 图像,图像的细节得到了体现,但效果仍不是很理想;图 5 是最后的合成图像,其有效地增强了图像的对比度和清晰度,亮度也有一定提高,图片细节得以体现。

4 结束语

文中基于 Matlab 平台,使用暗原色先验规律和小波图像增强等技术,给出了一种雾天图像清晰化方法。结果显示:图像的清晰度和对比度提高很多,能有效去除雾的作用,视觉效果得到明显改善,整体层次感也有提高,失真度大大降低。这种方法是一种较好的图像清晰化处理方法,具有一定的实用价值。

参考文献:

[1] 祝培,朱虹,钱学明,等.一种有雾天气图像景物影像的清晰化方法[J].中国图象图形学报,2004,9(1):124-128.

[2] Kim J Y, Kim L S, Hwang S H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(4):475-484.

[3] He Kaiming, Sun Jian, Tang Xiaoou. Single image haze removal using dark channel prior[C]//Proc of CVPR. [s. l.]:[s. n.], 2009:1956-1963.

[4] 郭珈,王孝通,胡程鹏,等.基于邻域相似性的暗原色先验图像去雾方法[J].计算机应用,2011,31(5):1224-1226.

[5] 刘锐.基于暗原色先验的一种快速图像去雾方法[J].计算机光盘软件与应用,2012(21):24-26.



版本演化树和组件间依赖的工作版本,构建组件系统依赖图,将组件系统的版本匹配拆分为判断各个组件被依赖的工作版本是否匹配。按照第2节的整体设计思路进行判断。

如图5所示,调用版本匹配判断检测工具,组件开发人员定义组件版本描述文件,集成人员定义组件系统配置文件,通过工具导入各个组件版本描述文件和集成配置文件,工具基于第三步、第四步原理进行分析后,得出组件系统版本是否匹配的结论。

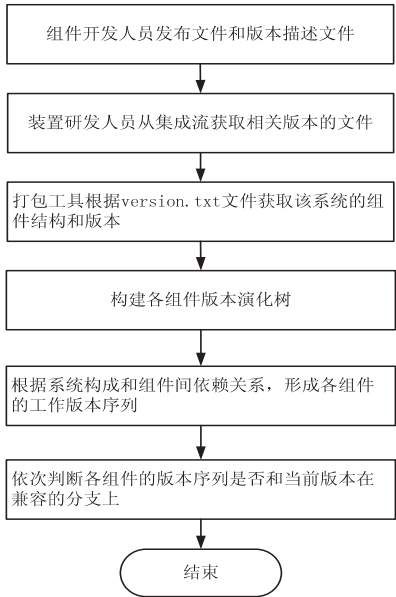


图5 打包时版本匹配的处理流程

7 结束语

基于文中提出的方案,组件集成人员基于版本匹配工具,能快速得出组件系统是否匹配的结论,加快了集成的速度,降低了由于版本不匹配的配置风险。该发明已经在电力系统控制保护平台的嵌入式组件系统、上位机可视化编程配置组件系统的集成时进行了应用,结果表明开发集成效率得到了显著提高。

参考文献:

[1] 陶传奇,李必信, Jerry Gao,等. 基于模型的构件软件修改影响分析[J]. 软件学报,2013,24(5):942-960.

[2] 袁伟民,左 春. 基于样本程序的领域开发平台的研究与实践[J]. 计算机工程与设计,2010,31(18):3979-3982.

[3] 丁 博,王怀民,史殿习. 构造具备自适应能力的软件[J]. 软件学报,2013,24(9):1981-2000.

[4] 周晓锋,马志强,刘馨月. 一种基于组件的软件开发方法[J]. 信息技术与标准化,2005(9):35-38.

[5] 张 驰. 软件组件接口扩展技术研究[J]. 微电子学与计算机,2007,24(8):35-37.

[6] 王 博,白晓颖,贺 飞,等. 可组合嵌入式软件建模与验证技术研究综述[J]. 软件学报,2014,25(2):234-253.

[7] 何鹏飞,何 平,张松阳,等. 组件技术在嵌入式系统中的应用[J]. 计算机系统应用,2014,23(6):220-223.

[8] 郑晓梅,胡晨骏,李 刚,等. 基于 MDE 的 AADL 构件组合兼容的方法[J]. 计算机工程与设计,2014,35(5):1862-1867.

[9] 孙小兵,李必信,陶传奇. 基于 LoCMD 的软件修改分析技术[J]. 软件学报,2012,23(6):1368-1381.

[10] 史浩辉,何 炜. 基于构件的指控软件复用[J]. 计算机技术与发展,2011,21(2):159-161.

[11] Tao C Q, Li B X, Sun X B. A hierarchical model for regression test selection and cost analysis of Java programs[C]//Proc of the Asia Pacific software engineering conf. Sydney: IEEE Computer Society, 2010:290-299.

[12] Lin L, Prowell S J, Poore J H. The impact of requirements changes on specifications and state machines[J]. Journal of Software Practice and Experience, 2009, 39(6):573-610.

[13] Park S, Bae D H. An approach to analyzing the software process change impact using process slicing and simulation[J]. Journal of Systems and Software, 2011, 84(4):528-543.

[14] Hassan M O, Deruelle L, Basson H. A knowledge-based system for change impact analysis on software architecture[C]//Proc of the research challenges in information science. [s. l.]: [s. n.], 2010:545-556.

(上接第68页)

[6] 杨靖宇,张永生,邹晓亮,等. 利用暗原色先验知识实现航空影像快速去雾[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2010,35(11):1292-1295.

[7] 李 坤,兰时勇,张建伟,等. 改进的基于暗原色先验的图像去雾算法[J]. 计算机技术与发展,2015,25(2):6-11.

[8] Inampud R B, Purimetla T N, Satyanarayana P G. Contrast degradation for improving quality of an image[J]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002, 6:3408-3410.

[9] 杨 帆. 数字图像处理与分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.

[10] 高仕龙. 一种基于小波变换和直方图均衡的图像增强方法[J]. 西华大学学报:自然科学版,2007,26(3):54-56.

[11] 马云飞,何文章. 基于小波变换的雾天图像增强方法[J]. 计算机应用与软件,2011,28(2):71-72.

[12] 吴 强,王新赛,贺 明,等. 一种结合小波分析与直方图的红外图像增强方法[J]. 应用光学,2011,32(3):464-467.


[13] 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.

[14] 杨 晨. 雾天图像增强算法研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.

[15] 徐贵力,刘小霞,田裕鹏,等. 一种图像清晰度评价方法[J]. 红外与激光工程,2009,38(1):180-184.

[16] Tan K, Oakley J P. Enhancement of Color Images in Poor visibility conditions[C]//Proceedings of 2000 international conference on image processing. [s. l.]: [s. n.], 2000:788-791.

# 基于暗原色先验与小波变换的图像去雾方法

作者：[许杰](#)，[杨会成](#)，[XU Jie](#)，[YANG Hui-cheng](#)  
作者单位：[安徽工程大学 电气工程学院, 安徽 芜湖, 241000](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)  
英文刊名：  
年，卷(期)：2016 (2)

引用本文格式：[许杰](#).[杨会成](#).[XU Jie](#).[YANG Hui-cheng](#) [基于暗原色先验与小波变换的图像去雾方法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016 (2)