

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **1**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年1月 第17卷 第1期(总第189期)

## 目 次

### 综述

压缩感知基本理论:回顾与展望 ..... 邵文泽, 韦志辉(1)

### 图像处理和编码

完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法 ..... 郭宝安, 陈彪, 张飏, 于志强, 张卫明(13)

多成分正则化约束的断层图像重建算法 ..... 王丽艳, 韦志辉, 李星秀(20)

基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法 ..... 郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 徐晓刚(27)

结合 NSS 和小波变换的无参考图像质量评价 ..... 金波, 李朝锋, 吴小俊(33)

结合区域分割和双边滤波的图像去噪新算法 ..... 杨学志, 徐勇, 方静, 卢洁, 左美霞(40)

种子像素滤波法去除随机脉冲噪声 ..... 单建华(49)

基于纹理和亮度感知特性的率失真优化策略 ..... 俞力克, 代锋, 张勇东, 林守勋(54)

单通道散焦模糊置换图像的盲分离 ..... 王伟, 方勇(62)

侧扫声呐图像的 3 维块匹配降斑方法 ..... 范习健, 李庆武, 黄河, 王敏(68)

新适应模型的提出及分类扩散 ..... 李彦宝, 姜广峰, 王治强, 刘薇(75)

### 图像分析和识别

从神经切片图像中识别功能束类型的研究 ..... 钟映春, 罗鹏(82)

融合 SPA 遮挡分割的多目标跟踪方法 ..... 丁欢, 张文生(90)

目标识别中的稳定图像特征组合发掘 ..... 姜永兵, 彭启民(99)

基于结构特征的高分辨率 TerraSAR-X 图像船舶识别方法研究 ..... 殷雄, 王超, 张红, 吴樊(106)

### 图像理解和计算机视觉

机器人的混合特征视觉环境感知方法 ..... 杨俊友, 马乐, 白殿春, 东俊光(114)

纹理分布分析的快速图像修复算法 ..... 张晴, 林家骏(123)

### 计算机图形学

圆的整数反走样生成算法 ..... 贾银亮, 张焕春, 经亚枝(130)

## 遥感图像处理

SAR 图像的快速核主成分分析识别方法 ..... 于红芸, 姜涛, 关键 (137)

基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法 ..... 张学良, 肖鹏峰, 冯学智 (142)

## 地理信息技术

保持几何模式的城市道路路网简化方法 ..... 杨必胜, 张云菲, 栾学晨 (150)

# 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 1 期

2012 年 1 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院  
**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所  
**主 编** 李小文  
**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱: jig@irsa. ac. cn  
电话: 010-68407995 010-82614429  
网 址: www. cjig. cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂  
**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号  
**总 发 行** 北京报刊发行局  
**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail: jig@irsa. ac. cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 1 January 2012

## Contents

### Review

Advances and perspectives on compressed sensing theory ..... *Shao Wenze, Wei Zhihui*(1)

### Image Processing and Coding

Complete video quality-preserving reversible data-hiding based on AVS .....  
..... *Guo Bao'an, Chen Biao, Zhang Biao, Yu Zhiqiang, Zhang Weiming*(13)

Morphological component analysis for tomography reconstruction ..... *Wang Liyan, Wei Zhihui, Li Xingxiu*(20)

Single image dehazing based on scene depth and physical model ..... *Guo Jia, Wang Xiaotong, Hu Chengpeng, Xu Xiaogang*(27)

No-reference image quality assessment based on natural scene statistics and wavelet ..... *Jin Bo, Li Chaofeng, Wu Xiaojun*(33)

New filter based on region segmentation and bilateral filtering ..... *Yang Xuezhi, Xu Yong, Fang Jing, Lu Jie, Zuo Meixia*(40)

Removal of random-valued impulse noise based on seed pixels filter ..... *Shan Jianhua*(49)

Novel rate distortion optimization strategy based on perceptual properties of texture and luminance .....  
..... *Yu Like, Dai Feng, Zhang Yongdong, Lin Shouxun*(54)

Blind separation of single-channel permuted defocus blurred image ..... *Wang Wei, Fang Yong*(62)

Side-scan sonar image despeckling based on block-matching and 3D filtering ..... *Fan Xijian, Li Qingwu, Huang He, Wang Min*(68)

New well-posed model and classified diffusion ..... *Li Yanbao, Jiang Guangfeng, Wang Zhiqiang, Liu Wei*(75)

### Image Analysis and Recognition

Type recognition of fascicular groups from nerve slice image ..... *Zhong Yingchun, Luo Peng*(82)

Multi-target tracking approach combined with SPA occlusion segmentation ..... *Ding Huan, Zhang Wensheng*(90)

The mining of stable image feature-compositions in object recognition ..... *Jiang Yongbing, Peng Qimin*(99)

Vessel recognition with high resolution terraSAR-X image based on structure feature .....  
..... *Yin Xiong, Wang Chao, Zhang Hong, Wu Fan*(106)

### Image Understanding and Computer Vision

Robot vision environmental perception method based on hybrid features .....  
..... *Yang Junyou, Ma Le, Bai Dianchun, Toshimitsu Higashi*(114)

Fast image inpainting algorithm using color texture distribution analysis ..... *Zhang Qing, Lin Jiajun*(123)

### Computer Graphics

Integral algorithm for circle anti-aliasing ..... *Jia Yinliang, Zhang Huanchun, Jing Yazhi*(130)

### Remote Sensing Image Processing

SAR images recognition based on kernel principal component analysis ..... *Yu Hongyun, Jiang Tao, Guan Jian*(137)

Remotely sensed imagery segmentation based on the hierarchical representation of image content .....  
..... *Zhang Xueliang, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi*(142)

### Geoinformatics

Pattern preserving method for grid simplification in road networks ..... *Yang Bisheng, Zhang Yunfei, Luan Xuechen*(150)

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)01-0027-06

论文引用格式: 郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 徐晓刚. 基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 27-32

# 基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法

郭珈<sup>1</sup>, 王孝通<sup>1,2</sup>, 胡程鹏<sup>1</sup>, 徐晓刚<sup>3</sup>

1. 海军大连舰艇学院光电技术研究所, 大连 116018;

2. 海军大连舰艇学院航海系, 大连 116018;

3. 海军大连舰艇学院自动化系, 大连 116018

**摘要:** 为恢复雾天图像对比度和颜色, 更好地提取图像中的信息, 根据海上开阔海域的特点, 利用3维到2维透视投影模型, 推导了海上图像任意像素点景深的计算公式, 并结合暗原色先验知识, 有效解决基准景深点的选取和天空亮度的选取问题, 最后基于相对景深模型和大气散射模型, 对单幅雾天图像进行清晰化处理。通过大量雾天降质图像的实验验证, 该算法的去雾效果优于基于暗原色先验统计方法的效果。

**关键词:** 图像去雾; 基准景深; 暗原色; 天空亮度

## Single image dehazing based on scene depth and physical model

Guo Jia<sup>1</sup>, Wang Xiaotong<sup>1,2</sup>, Hu Chengpeng<sup>1</sup>, Xu Xiaogang<sup>3</sup>

1. Institute of Photoelectric Technology, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

3. Department of Automatization, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China

**Abstract:** It is important to extract the information from images which have poor contrasts and colors acquired in bad weather. This paper proposes an effective method to remove haze from a single input image. First, focusing on sea images with deep and wide view, the formulas of relative depth are given based on a projection model from 3D to 2D. Then, using the dark channel prior, the sky intensity and reference depth can be obtained more accurate. At last, the degraded images can be recovered by relative scene depths model and atmosphere physical model. Our results demonstrate that our approach performs better than the dark channel prior method.

**Key words:** image dehazing; reference depth; dark channel prior; sky intensity

## 0 引言

雾天降质图像的清晰化处理是计算机视觉和图像处理领域的研究热点之一, 在军事、交通和监控等领域得到了应用。图像去雾主要分为基于图像增强和基于大气散射物理模型的方法。前者没有针对雾

天降质图像的形成机理进行补偿, 去雾恢复效果有限; 后者是基于大气散射规律建立图像退化模型, 利用退化的先验知识, 具有内在的优越性, 但需要求得场景深度和大气条件信息。目前主要通过雷达、激光测距仪等精密仪器测量图像的景深<sup>[1-2]</sup>, 也可利用同一角度降质程度不同的多幅图像<sup>[3-4]</sup>和不同角度的多幅图像<sup>[5]</sup>求取图像的景深, 这些方法对差

收稿日期: 2011-01-18; 修回日期: 2011-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(60975016); 辽宁省自然科学基金项目(20082176); 青年科学基金项目(61002052)

第一作者简介: 郭珈(1983—), 女, 现为海军大连舰艇学院交通信息工程及控制专业博士研究生, 主要研究方向为图像处理、信号分析。E-mail: guojia828@163.com

异图像获取不便,因此无法在实时监控情况下对图像进行处理。2008年,Fattal等人通过假设景物辐射和直接散射独立不相关来估计景物的反射率,还原整幅图像<sup>[6]</sup>,取得了较好的效果,但不适用对浓雾图像的处理。2009年,He等人提出基于暗原色先验统计的单幅图像去雾方法<sup>[7]</sup>,为雾天图像的清晰化处理提供了新的途径,但对于天空区域过大、颜色缺少变化及缺少阴影或暗物质的图像去雾效果不好,尤其对海上雾天图像的处理效果不理想。本文根据雾天海上图像特点,推导海上图像任意点景物深度的计算公式,提出基于单幅图像相对景深和大气散射模型的去雾算法,并将其推广到陆上场景图像,取得了良好的去雾效果。

### 1 雾天图像形成机理

目标光线从景物到接收装置的传播过程中,遇到大气中粒径较大的气溶胶悬浮粒子发生散射,造成雾天图像模糊,其形成模型可描述为

$$E(d, \lambda) = E_0(d, \lambda) e^{-\beta(\lambda)d} + E_{\infty}(d, \lambda) (1 - e^{-\beta(\lambda)d}) \quad (1)$$

式中, $E$ 为观测到的雾天图像的强度, $E_0$ 指晴好天气下景物光线的强度, $E_{\infty}$ 为大气光线强度(天空亮度), $E_0(d, \lambda) e^{-\beta(\lambda)d}$ 描述景物光线经透射媒介的衰减结果, $E_{\infty}(d, \lambda) (1 - e^{-\beta(\lambda)d})$ 描述大气光散射造成的影响。图像去雾就是从雾天景物强度 $E$ 中提取晴好天气下的景物强度 $E_0$ 。

### 2 基于单幅图像的景深模型

海面较为平坦,突兀的物体不多,在海面上到视点 $A$ 景深相同的点构成以 $A$ 点垂足为圆心的圆,如图1所示。

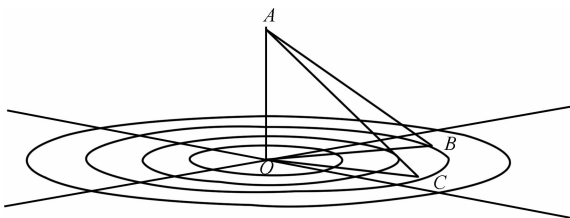


图1 海面等景深点示意图  
Fig. 1 Iso-depth pixels on sea plane

景物投射到平面形成图像是透视投影的过程,通过计算等景深圆在平面上的投影,可以建立海上图像等景深模型。如图2所示,俯角为 $\alpha$ ,视角为 $\beta$ , $m$ 为所取投影面, $B$ 为观察者 $A$ 正前方海面上的一点, $C$ 为 $B$ 在 $m$ 上的投影。在图3中, $N$ 为海面上相对于 $B$ 方位角为 $\theta$ 的一点, $D, F$ 为 $OB, ON$ 与投影面 $m$ 的交点,根据光学成像原理, $N$ 点在投影面上的投影存在两种情况:投影点位于投影面与海面交线上方,投影点位于投影面与海面交线下方,如图4、图5所示。

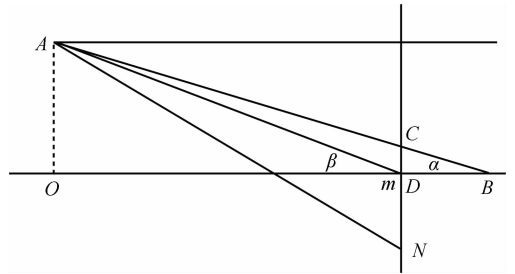


图2 俯角为 $\alpha(\alpha \neq 0)$ 时影像形成原理图  
Fig. 2 Projection when the platform angle is  $\alpha$

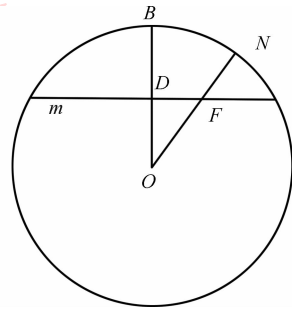


图3 海面上对应点分布图  
Fig. 3 Projection on the sea plane

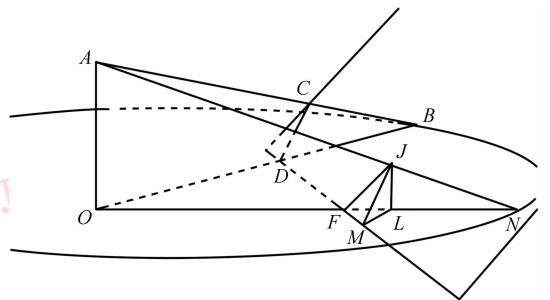


图4  $N$ 的投影点位于投影面与海面交线上方  
Fig. 4 Projection of  $N$  above the intersection of projection plane and sea plane

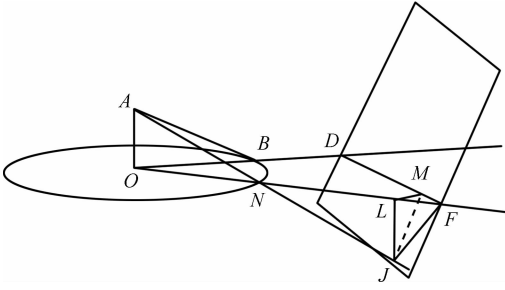


图5  $N$  的投影点位于投影面与海面交线下方  
Fig. 5 Projection of  $N$  under the intersection of projection plane and sea plane

设投影面  $m$  对应图像的大小为  $M \times N$ ,  $J$  点坐标为  $(m, n)$ , 由直角三角形性质及投影面与图片上像素点的对应关系, 可以推理得到

$$\begin{cases} \frac{N - 2n}{N} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} - \frac{H}{(H \tan \alpha + R \cos \theta) (\cos \alpha)^2 \tan \beta} \\ \frac{2m - M}{N} = \frac{R \sin \theta}{(H \tan \alpha + R \cos \theta) \cos \alpha \tan \beta} \end{cases} \quad (2)$$

$N$  点的方位距离为

$$\begin{cases} \theta = \arctan \left\{ \frac{(2m - M) \cos \alpha \tan \beta}{\left[ 1 - \sin \alpha \cos \alpha \left( \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} - \frac{N - 2n}{N} \right) \tan \beta \right] N} \right\} \\ R = \sqrt{\left( \frac{H}{\left( \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} - \frac{N - 2n}{N} \right) \cos^2 \alpha \tan \beta} - H \tan \alpha \right)^2 + \left( \frac{(2m - M) H}{\left( \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} - \frac{N - 2n}{N} \right) \cos(\alpha N)} \right)^2} \end{cases} \quad (3)$$

像素点对应的景物深度为

$$D = \sqrt{\left( \frac{H}{\left( \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} - \frac{N - 2n}{N} \right) \cos^2 \alpha \tan \beta} - H \tan \alpha \right)^2 + \left( \frac{(2m - M) H}{\left( \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} - \frac{N - 2n}{N} \right) \cos(\alpha N)} \right)^2 + H^2} \quad (4)$$

因此, 在任意俯角情况下, 只要测得相机距海面的高度、相机视角及拍摄俯角, 就可由式(3)(4)求得像素点对应海面景物的方位、距离及其景深。

经分析可知, 当  $n = \frac{N}{2} \left( 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right)$  时,  $R$  为无穷大; 当  $n < \frac{N}{2} \left( 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right)$  时,  $R$  没有物理意义。

为了模型的完备性,  $R$  取  $n > \frac{N}{2} \left( 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right)$  时的第一个值。

### 3 基于相对景深和大气散射模型的图像去雾

根据式(1)经典大气散射模型, 可得

$$E_0(\lambda) = E_\infty(\lambda) - (E_\infty(\lambda) - E(d, \lambda)) e^{\beta(\lambda)d} \quad (5)$$

根据暗原色先验统计规律, 在晴好天气下的非天空局部区域内, 总存在某一些像素至少有一个颜色通道具有很低的亮度值, 将像素点 3 个通道的最小值称为该点的暗原色值。经统计得出, 绝大部分的暗

原色值很低甚至趋近于零<sup>[2]</sup>, 即一幅晴好天气图像至少存在一个暗原色值为零的点。若将其作为基准景深点, 则这一点在暗原色通道颜色的改变可看做雾的叠加作用。由式(5)可得雾对其亮度造成的影响为

$$E_0^{\text{dark}}(\lambda) = E_\infty^{\text{dark}}(\lambda) (1 - e^{\beta(\lambda)d_0}) \quad (6)$$

式中,  $E_0^{\text{dark}}$  和  $E_\infty^{\text{dark}}$  分别为在暗原色通道的亮度值。整理得到

$$\beta(\lambda)d_0 = -\ln \left( 1 - \frac{E_0^{\text{dark}}}{E_\infty^{\text{dark}}} \right) \quad (7)$$

对于任意的景深  $d$  有

$$\beta(\lambda)d = d \frac{\beta(\lambda)d_0}{d_0} = -\frac{d}{d_0} \ln \left( 1 - \frac{E_0^{\text{dark}}}{E_\infty^{\text{dark}}} \right) \quad (8)$$

将式(8)代入式(1), 得到对应于距离  $d$  的像素值为

$$E_0(\lambda) = E_\infty(\lambda) - \frac{E_\infty(\lambda) - E(d, \lambda)}{\left( 1 - \frac{E_0^{\text{dark}}}{E_\infty^{\text{dark}}} \right)^{\frac{d}{d_0}}} \quad (9)$$

由式(9)可知, 只要选定合适的基准景深点, 再通过计算像素点的相对景深, 就可以实现整幅图像的去雾处理。

基于暗原色先验的算法不适用于海上图像, 但

海面上总存在着漂浮的暗色物体或由浪花等引起的小块阴影, 其中的像素点满足暗原色先验统计规律, 可选其为基准景深点, 并将该点的亮度值取为  $E_0$ 。具体地, 先求图像每一像素点 3 个颜色通道的最小值, 得到暗原色图, 如图 6(b) 所示, 找到暗原色图上亮度值最小的像素点 (图中红色方框标示处的像素点) 作为基准景深点, 记亮度值为  $E_0^{dark}$ 。

天空亮度  $E_{\infty}$  的求取有多种不同的方法, 文献[4,6]将景物表面反射率看做 RGB 空间里的向量, 通过 3 维空间几何结构和最优化的方法来估计大气光线的方向和大小。这种方法较为复杂, 同时需要较强的假设条件。文献[8]把图像的亮度最大值作为天空亮度  $E_{\infty}$  的值, 这种方法容易出现较大的

误差。如图 7(a) 黄色矩框所示, 虽然亮度最大, 但不是天空区域。借鉴文献[9]确定并分割天空算法的思想, 利用 He 的暗原色思想, 提出估计天空亮度的算法。具体方法如下:

- 1) 求取原图像中每一个像素点 R、G、B 3 个颜色通道上的最小亮度值得到暗原色图像;
- 2) 提取暗原色图的直方图, 如图 7(b) 所示;
- 3) 设定灰度值区间  $(s_1, s_2)$ , 其中  $s_1$  大于 128,  $s_2$  为 255。寻取介于  $(s_1, s_2)$  之间的出现频率最大的灰度值 (即为  $E_{\infty}^{dark}$ ), 其对应像素点即选为天空区域, 图 7(c) 圈定的区域为本文算法所求得天空区域位置。最后, 求原图像中天空区域颜色的平均值, 作为天空亮度值  $E_{\infty}$ 。

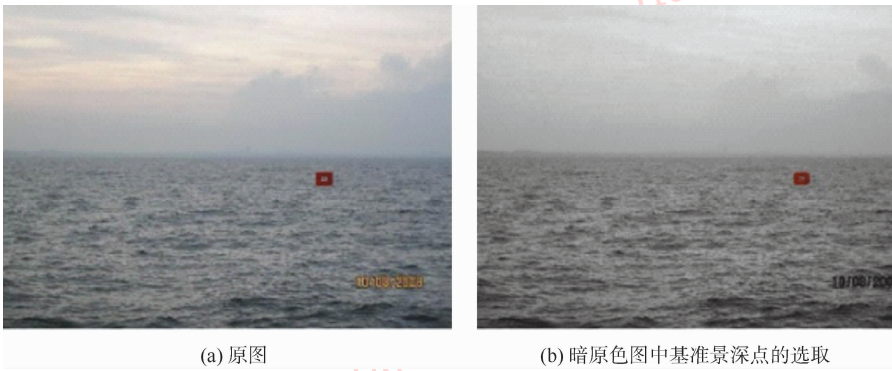


图 6 海上雾天图像基准景深点

Fig. 6 The pixel with reference scene depth

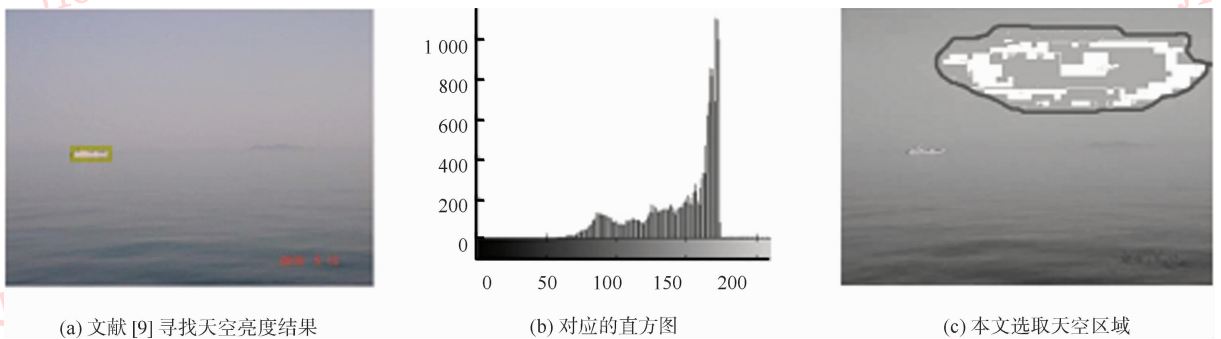


图 7 确定天空亮度

Fig. 7 Estimate sky intensity

本文算法通过调节  $s_1$ 、 $s_2$  的值可以改变  $E_{\infty}$  的大小<sup>[10]</sup>, 通过大量的实验证明, 处理后的图像整体亮度会随  $E_{\infty}$  的增大而减小, 所以合理地设定求取  $E_{\infty}$  的区间可以有效调节图像整体亮度<sup>[11]</sup>。

### 4 算法及应用

根据暗原色先验统计规律, 选定图像的基准景深点和天空亮度, 并通过海上单幅图像景深模型计算相对景深, 结合大气散射模型对雾天影像进行清

晰化处理,其算法步骤如下:

- 1) 求取图像每一像素点 R、G、B 3 个颜色通道的最小值,以此作为该像素点的亮度值,建立暗原色图<sup>[12]</sup>;
- 2) 在暗原色图上寻求亮度值最小的点,并将该点的灰度值作为基准深度  $d_0$  处像素点的亮度值  $E_0^{\text{dark}}$ <sup>[13]</sup>;
- 3) 根据视点高度、视角和俯角,通过景深模型计算图像每一像素点的景物深度  $d$ ;

4) 在步骤 2) 得到的暗原色图上求取天空亮度  $E_\infty$ <sup>[14]</sup>;

5) 将求得的  $d_0$ 、 $E_0$ 、 $E_\infty$  及每一像素点对应的景深  $d$  带入式(9)<sup>[15]</sup>,求得每一像素点在晴好天气下的亮度。

通过实验发现,提出的雾天影像清晰化方法不仅适用于海上雾天图像的处理,对于很多场景较为平坦的陆上图像也有效。部分结果图像及参数选取如图 8、图 9 所示。



图 8 海上雾天图像处理结果 ( $\alpha = 0, \beta = 45^\circ, H = 1\ 000$ )

Fig. 8 Haze removal results of sea images



图 9 陆上雾天图像处理结果

Fig. 9 Haze removal results of land images

图 8 是海上浓雾场景,天空区域较大且没有太多暗色表面或阴影,基于暗原色先验统计的算法效果有限,本文算法避免了暗原色值不准导致的色差,其处理效果明显好于基于暗原色先验统计方法的效果。图 9 中场景较为平坦的陆上雾天图像处理效果在颜色保真度上要优于 He 在文献[7]中给出的结果。

## 5 结 论

根据暗原色先验统计规律,提出图像基准景深点选取方法,并根据海上开阔海域的特点,利用 3 维到 2 维透视投影模型,推导海上单幅图像任意点景深的计算公式,提出单幅图像寻求天空亮度的算法,而且通过设定  $E_\infty$  的区间可以调节图像整体亮度。在此基础上,推导由相对景深求解大气散射模型的方法,实现了单幅雾天图像的清晰化处理,并推广到场景较为平坦的陆上雾天图像处理。通过大量雾天图像的实验证明,该算法的去雾效果优于基于暗原色先验统计方法的效果。

## 参考文献 (References)

[ 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): 167-170.
- [ 2 ] Johannes K, Neubert R, Chen Billy. Deep photo: model-based photograph enhancement and viewing [ C ]//Siggraph Asia. Singapore: ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 1-10.
- [ 3 ] Narasimhan S G, Nayar S K. Removing weather effects from monochrome images [ C ]//Proceedings of CVPR. Kauai, Hawaii: IEEE Computer Society, 2001, 2:186-193.
- [ 4 ] Narasimhan S G, Nayar S K. Chromatic framework for vision in bad weather[C]//Proceedings of IEEE CVPR. South Carolina: IEEE Computer Society, 2000, 1: 598-605.
- [ 5 ] Schechner Y Y, Narasimhan S G, Nayar S K. Instant dehazing of images using polarization [ C ]//Proceedings of IEEE CVPR. Kauai, Hawaii: IEEE Computer Society, 2001, 1: 325-332.
- [ 6 ] Fattal R. Single image dehazing [ C ]//ACM Siggraph. Los Angeles: ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-9.
- [ 7 ] He K M, Sun J, Zhou X O. Single image haze removal using dark channel prior [ C ]//Proceedings of IEEE CVPR. Miami, FL:IEEE Computer Society, 2009, 1:1956-1963.
- [ 8 ] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image [ C ]//Proceedings of IEEE CVPR. Anchorage, Alaska: IEEE Computer Society, 2008, 1:1-8.
- [ 9 ] Zhu P, Zhu H, Qian X M, et al. An image clearness method for fog [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(1): 124-128. [ 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. ]
- [ 10 ] Qi B J, Wu T, He H G. A New Defogging Method with Nested Windows [ C ]//Proceedings of ICIECS. Wuhan: Wuhan University, 2009:1-4.
- [ 11 ] Zhou D S, Shao X, Zhu T, et al. Processing method research of color image degraded by fog [ J ]. Journal of PLA University of Science and Technology ( Natural Science Edition ), 2008, 9(2): 142-145. [ 周树道, 邵啸, 朱涛, 等. 薄雾影响下的退化彩色图像处理方法 [ J ]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2008, 9(2): 142-145. ]
- [ 12 ] Oakley J P, Bu H. Correction of simple contrast loss in color images [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(2): 511-522.
- [ 13 ] Carr P, Hartley R. Improved single image dehazing using geometry [ C ]//Digital Image Computing: Techniques and Applications. Washington, DC, USA: IEEE, 2009, 103-110.
- [ 14 ] Chen M Y, Men A D, Fan P, et al. Single image defogging [ C ]//Proceedings of IC- NIDC. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009:675-679.
- [ 15 ] Preetham A J, Shirley P, Smits B. A practical analytic model for daylight [ C ]//ACM Siggraph. Los Angeles: ACM Transactions on Graphics, 1999, 4:91-100.