

改进的基于分块法的图像噪声估计

陈会娟*, 戴声奎

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

(* 通信作者电子邮箱 chjisland@163.com)

摘要:针对含高斯白噪声图像的噪声估计问题,提出一种改进传统分块法的新型算法。该算法提出灰度级范围对部分噪声的抑制作用,并因此造成对偏亮或偏暗图像的噪声估计有严重的欠估计。所提算法从解决此问题着手,合理结合滤波法对噪声的粗略估计结果得出溢出灰度级的边界条件。改进后的分块法自适应地选取划分图像的窗口大小、筛选噪声未溢出的子块及求取标准差排序后的数学统计参数。该算法不仅适用于噪声估计中常用的经典图像,也适用于现实生活中常见的各种监控图像,且噪声估计的结果受图像细节影响很小,对具有不同尺寸、不同信噪比、亮度不均衡及含不同等级噪声等特征的图像均取得较优的估计结果。实验结果表明,该算法具有更普遍的适用性、更高的精度和更好的鲁棒性。

关键词:噪声估计;分块法;欠估计;灰度级溢出;自适应

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A

Improved block-based image noise estimation algorithm

CHEN Huijuan*, DAI Shengkui

(School of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen Fujian 361021, China)

Abstract: To estimate noise variance in a white Gaussian noise image, an improved block-based algorithm was proposed. The improved noise estimation approach put forward that the gray-level restrains some of the noise. When dealing with brighter or darker images, this phenomenon may cause serious underestimation. The proposed approach started with the key to underestimation, got the boundary condition of overflowing the gray-level by combining filter-based method. The improved block-based method selected window size for partition, sub-blocks without overflowing, mathematical proportion parameter self-adaptively. The approach both applied to the classical noise estimation images and surveillance images which were more common in daily life. The improved block-based method was hardly affected by image details, it performed well in images with different sizes, different Signal-to-Noise Ratio (SNR) or uneven brightness. The experimental result shows that the proposed algorithm possesses wider applicability, higher accuracy and better robustness.

Key words: noise estimation; block-based method; underestimation; gray-level overflow; self-adaptive

0 引言

图像在获取、传输或存储等过程中都会不可避免地引入噪声,且大多数实际噪声可近似为高斯白噪声。噪声大小的先验知识不同程度地影响图像去噪、压缩、滤波、分割等数字图像处理算法,因此如何准确地估计高斯噪声参数成为数字图像处理中一项至关重要的预处理工作。

目前,已有许多学者针对噪声估计这一问题提出解决方案,较常见的方法有以下三种:1)滤波法^[1-2]。用含噪图像减去滤波去噪后图像来近似估计噪声大小。此方法要求用于平滑的滤波器不仅能够有效地去除噪声,也要不丢失边缘细节。所以,当图像中含有较多轮廓、纹理信息时,此方法会产生严重的过估计。2)小波变换法^[3-4]。将含噪图像进行小波变换,区分出噪声集中的高频子带信息,以此估计噪声大小。此方法实验结果相对较为精确,但其需要较高的算法复杂度。3)分块法^[5-10]。将含噪图像划分为若干块子区域,对每块区域进行噪声估计,然后采用某种数学统计准则选择其中一个子块的标准

差估计值作为噪声估计结果。分块法运行效率较高,但其极易受图像细节影响而得不到精确、稳定的实验结果。

为避免过估计,分块法中最关键的是被选择的子块需满足具有很好的均匀性和同质性,即此子块可被视为灰度值基本不变、较为平坦、不含“伪边缘”的同质区。但传统分块法过程大多较为粗糙,简单地将各子块估计的标准差排序,以一固定百分比次序的子块的标准差作为估计结果。但事实上,对各种不同的图像,并不能保证标准差为某一固定次序比例的子块就是同质区域,算法显然缺乏鲁棒性。此外,本文提出一种即使在满足所选子块是同质性的情况下也无法避免的欠估计现象,即对于偏亮、偏暗的图像,较大或较小的像素值加入噪声后可能会溢出灰度级的范围,进而被加入的部分噪声被抑制而未能体现出来,使得估计结果偏小造成欠估计。

本文以避免噪声欠估计为出发点,以算法简单、快速的分块法为基础,结合滤波法对噪声的粗略估计结果得出噪声溢出的边界条件,并以此条件对子块进行筛选,对符合要求的所有子块的标准差排序后用一个自适应的数学统计函数确定最

收稿日期:2014-01-20;修回日期:2014-03-03。

作者简介:陈会娟(1989-),女,河北邯郸人,硕士研究生,主要研究方向:噪声估计及去噪、图像去雾、图像增强;戴声奎(1971-),男,湖北武汉人,副教授,博士,主要研究方向:图像处理、视频分析、模式识别。

终作为结果的子块标准差。改进后的算法提高了分块法的有效性、自适应性。

1 算法概述

假设图像加入方差 σ^2 未知的零均值高斯白噪声,含噪图像模型表示为:

$$I_n(x, y) = I(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

式中: $I_n(x, y)$ 、 $I(x, y)$ 、 $n(x, y)$ 分别为含噪图像、原图、加性高斯白噪声。噪声估计的目的即从图像 $I_n(x, y)$ 中估计标准差 σ 的大小。

传统分块法估计噪声大小的流程通常如下:

1) 以固定窗口 $win \times win$ 无重叠地将大小为 $width \times height$ 的图像 $I_n(x, y)$ 划分为 $M \times N$ 个子块 $I_i(x, y)$ ($i = 1, 2, \dots, MN$);

2) 分别求取各分块 $I_i(x, y)$ 的标准差并由小到大排序;

3) 将所有子块的第 βMN 个子块的标准差或前 βMN 个子块的标准差均值视为估计值,传统分块法中所选次序占有子块数的百分比大小为 $\beta = 0.1\%$ 。

首先,传统的分块法中划分图像的窗口大小取固定值并未考虑到图像边缘轮廓、图像大小等因素对噪声估计结果及算法复杂度的影响;其次,排序后的数学运算太过简单,估计结果会受图像细节影响而产生较大偏差,鲁棒性较弱。但若为增强鲁棒性而在排序前加入同质区检测运算,会增加算法的复杂度,影响了噪声估计在图像处理中作为预估计的实用性。

对于传统滤波法,通过实验验证:滤波法中,虽然噪声图像与平滑后图像的差值并不只是噪声信号,其中有可能包含了部分边缘、纹理等信号使得估计值偏高,但其结果可以大致确定待估计噪声的范围,可据此给出加入噪声后溢出灰度级的边界条件。因此,本文结合滤波法预作出如下改进:

1) 用自适应的窗口大小 $win \times win$ 划分图像 $I_n(x, y)$;

2) 利用子块 $I_i(x, y)$ 的均值 μ_i 与滤波法粗略估计 σ_{rough} 之间的关系对各子块进行筛选,对符合要求的子块求标准差并排序;

3) 将第 $\beta N_{remained}$ 个子块的标准差作为实际噪声估计值 (其中: $N_{remained}$ 为经筛选符合要求的子块总数, β 为自适应数学比例参数)。

2 噪声水平估计

三种常见估计方法均考虑到因图像边缘与噪声信号间的某些共同特点而将其误认为是噪声信号所引起的过估计,且为减弱“伪边缘”对噪声估计的影响采用了同质区判定、轮廓提取、边缘检测等方法,但此类处理虽对过估计有一定的效果,却依然无法避免被忽略的欠估计现象。

2.1 欠估计现象分析及子块的选取规则

关于欠估计,从对式(1)的解析出发:根据高斯噪声函数的特征,像素值为 L 的点加入方差为 σ^2 的高斯噪声后像素值基本落在 $[L - 3\sigma, L + 3\sigma]$ 的范围内,即对于图像 $I(x, y)$ 有:

$$\{(x, y) | I(x, y) \in [0, 255]\} \quad (2)$$

$$\{(x, y) | n(x, y) \in [-3\sigma, +3\sigma]\} \quad (3)$$

$$\{(x, y) | I(x, y) + n(x, y) \in [-3\sigma, 255 + 3\sigma]\} \quad (4)$$

式(4)表明部分像素值加入噪声后出现溢出 $[0, 255]$ 灰度级范围的现象,所以图像 $I_n(x, y)$ 中像素值小于 0 的被视为 0, $I_n(x, y)$ 中像素值大于 255 的被视为 255。即部分噪声因溢出而被抑制,加入的噪声体现出来的值并没有实际加入的大,进而造成噪声的欠估计。

为更形象说明溢出问题,图 1 给出三幅 512×512 的灰度值单一(灰度值分别为 0, 128, 255)但人为加入标准差为 20 的高斯噪声的图像,并分别求其对应的直方图。

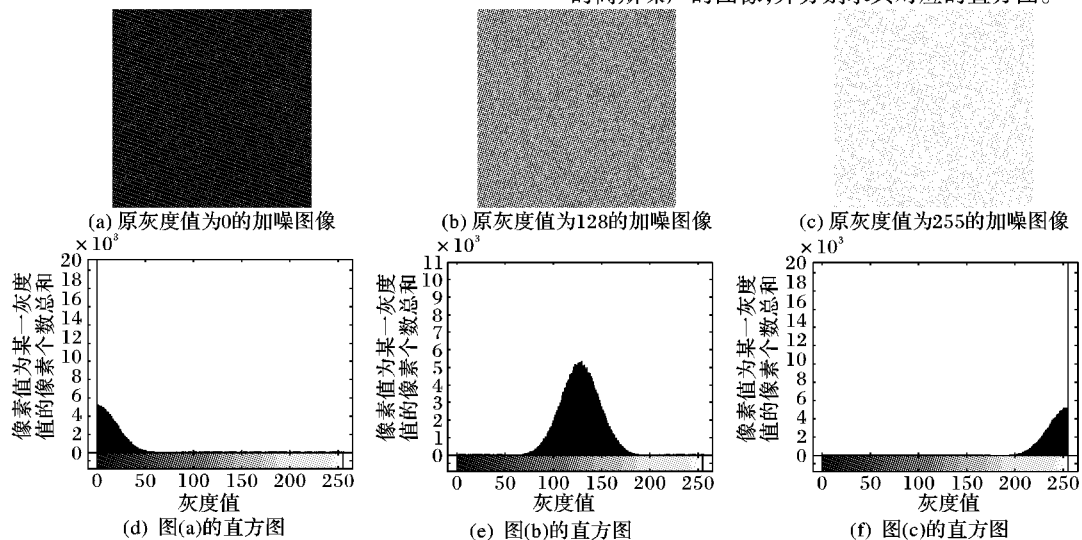


图1 单一灰度值图像加噪后的直方图

图 1 表明,对于灰度值为 0 的纯黑图像,被加入的小于零的高斯噪声均被归为 0;同样,灰度值为 255 的纯白图像,被加入的大于零的高斯噪声被归为 255。即部分被加入噪声并未体现出来,由表 1 可以看出溢出现象严重影响了噪声估计结果。并且,以上三幅图像均属于同质区,完全不受“伪边缘”的影响,传统三种方法即使加入同质性判定或边缘检测依然不能避免欠估计现象。

表 1 图 1 各含噪图像对应的实际噪声标准差

含噪图像	标准差值	含噪图像	标准差值
图 1(a)	11.6946	图 1(c)	11.7049
图 1(b)	19.9612		

为解决欠估计问题,本文子块的选取规则从对子块均值判断的新思路出发,由以上分析可知,当子块的均值 $\mu_i < 3\sigma$

或 $\mu_i > 255 - 3\sigma$ 时,加入高斯噪声后可能会出现溢出现象,使得标准差较实际值偏小。所以,为避免溢出造成的欠估计,本文对各子块进行预筛选,选取条件即子块的均值需满足:

$$\mu_i \in [3\sigma_{\text{rough}}, 255 - 3\sigma_{\text{rough}}] \quad (5)$$

图2以加入标准差为20的Lena含噪图像为例,无重叠地划分图像并以绿色框标记出被淘汰的偏亮、偏暗子块。

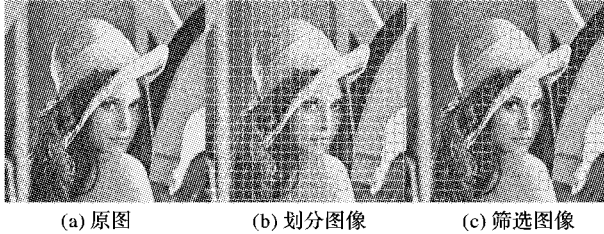


图2 Lena含噪图像的子块划分及筛选

2.2 窗口大小自适应选取规则

分块法方案中,窗口的大小影响着估计的准确度和算法复杂度。窗口越小,算法的循环处理次数越多,复杂度越高,且子块的方差范围越大,估计值呈偏小趋势;窗口越大,每个子块包含“伪边缘”的可能性越大,使得可以被视为同质区的子块越少,子块的方差范围越小,估计值呈偏大趋势。

关于窗口大小的选取,该算法先运用滤波法粗略估计噪声大小,并通过实验得出滤波法估计值 σ_{rough} 与窗口大小有如下关系:对于同一幅图像, σ_{rough} 越小,代表加入噪声越少,越容易将图像细节信息误认为是噪声,分块估计过程对子块方差精确度要求越为严格,所以窗口越小越好;反之, σ_{rough} 越大,图像的细节信息已很大程度上被噪声破坏,对噪声估计的干扰越小,所以窗口可适当加大。即窗口大小与滤波法粗估计值 σ_{rough} 成正比。

但是对于不同图像的 σ_{rough} , 含较少噪声、细节较丰富的含噪图像噪声估计结果有可能近于含噪声较多、细节信息较少的含噪图像的估计结果。因此,有必要引入另一参数——含噪图像的标准差 σ_{noisy} , 且经过反复实验得出窗口大小与下式标准差参数成正比:

$$\alpha_{\sigma} = \sigma_{\text{noisy}} \sigma_{\text{rough}}^{0.1} \quad (6)$$

除此之外,窗口大小的选取还需考虑一个不可忽视的因素,即图像的尺寸。当图像比较大时,窗口大小需成比例地增大,避免过多的循环运算。综上,窗口由下式自适应确定:

$$\text{win} = \frac{13\alpha_{\text{size}}}{\ln(50/\alpha_{\sigma} + 1)} \quad (7)$$

式中尺寸参数 $\alpha_{\text{size}} = \max((\text{width} + \text{height})/1200, 1)$ 。

为避免因图像尺寸较大而造成的划分子块过多,在此以子块总数1000为上限,子块数超过上限用以下式重新确定窗口大小:

$$\frac{\text{width}}{\text{win}} \cdot \frac{\text{height}}{\text{win}} = 1000 \text{ 或 } \frac{\text{width}}{\text{win}} \cdot \frac{\text{height}}{\text{win}} \rightarrow 1000 \quad (8)$$

2.3 数学统计参数的求取

对筛选后的子块分别求标准差,被淘汰的子块标准差设为0。假设以大小为 $\text{win} \times \text{win}$ 的窗口将图像 $I_n(x, y)$ 划分为 $M \times N$ 个子块,且由子块选取规则得出被淘汰子块个数为 N_{exclude} , 则以由下式求得的第 N_{selected} 个子块的标准差作为图像噪声估计结果:

$$N_{\text{selected}} = \beta(MN - N_{\text{exclude}}) + N_{\text{exclude}} \quad (9)$$

式中统计参数 β 由式(10)得出:

$$\beta = \frac{1}{750 \ln(200\sigma_{\text{noisy}}/\alpha_{\sigma}^3 + 1)} \quad (10)$$

对比式(7)可以看出, β 计算原则基本与 win 一致,即与 α_{σ} 成正比。但考虑到当 α_{σ} 、 win 参数相同情况下, σ_{noisy} 越大代表细节信息越丰富,估计值越容易偏大。为取得更精确的结果,加入了 σ_{noisy} 与 β 成反比的信息进行改进。

2.4 算法流程

综上所述,结合传统算法的基本思路,本文算法对一幅含噪图像的噪声估计过程如下:

- 1) 利用滤波法计算噪声粗估计 σ_{rough} ;
- 2) 自适应求取窗口大小 $\text{win} \times \text{win}$ 并对图像 $I_n(x, y)$ 分块;
- 3) 选取加入噪声后未溢出的子块,即子块的均值需满足: $\mu_i \in [3\sigma_{\text{rough}}, 255 - 3\sigma_{\text{rough}}]$;
- 4) 分别计算未溢出子块的标准差;
- 5) 将所得标准差由小到大排序;
- 6) 自适应求取参数 β , 并由式(10)确定最终估计结果。

3 实验结果与讨论

为验证该算法的有效性,本文采用了10幅 512×512 的不同纹理特征的经典灰度图作为实验对象。人为地加入标准差为5、10、15、20、25、30的高斯噪声,分别采用传统方法^[6]、文献[8]方法、文献[11]方法、文献[12]方法和本文方法进行噪声估计,得到的结果列于表2;表3中以经典测试图Lena、Boat为例,给出了本文方法与文献[1]方法、文献[7]方法、文献[13]方法的对比结果。实验数据表明该算法虽然出发点主要是针对光照不均匀的图像,但在解决此难题之外,对含不同噪声等级的常见图像也同样可以取得较精确的估计结果,可见该算法性能优于传统方法,并且具有更好的稳健性和可靠性。

表2 噪声标准差估计结果对比

σ_{added}	文献[6]方法	文献[8]方法	文献[11]方法	文献[12]方法	本文方法
5	6.45	6.08	5.84	5.29	5.45
10	11.24	11.33	10.63	10.28	10.05
15	16.04	16.40	15.43	15.25	15.02
20	20.86	22.22	20.41	20.13	20.01
25	25.71	26.83	25.37	25.06	24.98
30	30.58	30.98	30.36	29.98	29.93

下面为进一步验证该算法的实用性,给出下列一组不同场景的图像,如图3所示(此组测试图像均来源于互联网),且将本文对其噪声估计结果如表4所示。

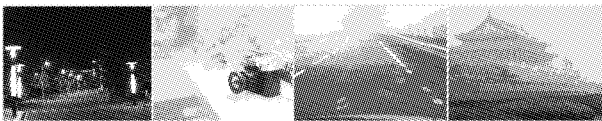
以上这组图像分别为夜间拍摄的低照度图像,偏亮图像, Tarel等^[14]运用于道路去雾的有雾图像,去雾算法中经典原图。图3(a)这组原图均具有亮度不均衡的特性,表4表明本文算法可以很好地像素值有可能溢出的子块排除,最终取得较为准确的估计结果,而传统三种方法对此组图像噪声估计值均出现严重的欠估计。即使是文献[12]中的最新噪声估计研究成果亦未能解决此类图像的欠估计问题,原因在于其预处理是对重叠性子块的弱纹理区的选定,而对以上一组图像,所选定的弱纹理区将分别落在夜空区域、亮色桌面区、道路前方的天空区域、天空平坦区,而这些区域均属于偏亮、偏暗的同质区域,后期对其进行主成分分析的噪声估计结果

同样较实际值小很多。除此之外,图3中的图像分别出现在低照度图像增强、汽车路况监控、有雾图像清晰化等图像处理

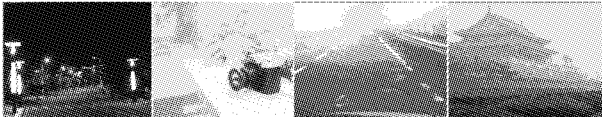
中,它们都在某一方面具有一定的特征,该算法对这组图像的有效估计也反映了该算法广泛的实用性和较强的鲁棒性。

表3 噪声标准差估计结果对比

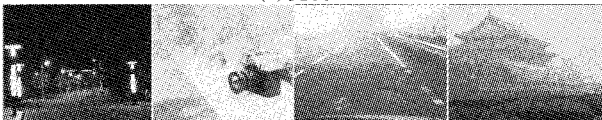
σ_{added}	Lena				Boat			
	文献[1] 方法	文献[7] 方法	文献[12] 方法	本文方法	文献[1] 方法	文献[7] 方法	文献[13] 方法	本文方法
5	4.70	4.85	4.86	5.35	4.95	5.27	5.32	5.21
10	9.61	9.67	9.73	10.15	9.75	9.92	9.98	10.08
15	14.53	14.58	14.67	15.10	14.63	14.73	14.84	14.93
20	19.55	19.46	19.61	19.93	19.57	19.56	19.69	19.90
25	24.50	24.29	24.48	24.89	24.44	24.35	24.51	24.83
30	29.28	29.02	29.23	29.78	29.20	29.04	29.25	29.68



(a) 原图



(b) 亮度图



(c) 加入标准差为20的含噪图



(d) 经筛选的划分图



(e) 标记被淘汰子块的图像

图3 一组不同场景的图像

表4 图3中4幅含噪图像的噪声标准差估计值

含噪图像	滤波法 ^[2]	小波法 ^[3]	分块法 ^[9]	本文方法
图3(a)左一	14.73	15.58	17.34	19.87
图3(b)左一	17.76	18.79	18.65	19.47
图3(c)左一	18.02	18.67	18.71	19.78
图3(d)左一	18.90	18.92	18.73	19.95

4 结语

本文提出了改进的噪声估计的分块法,合理地结合了图像本身的标准差信息和滤波法所得的粗估计,对分块法的窗口大小、子块筛选及数学统计参数进行了有效的自适应改进。实验结果表明,本文所提出的图像噪声估计算法不但可以更有效地对含不同噪声等级的经典图像进行精确估计,而且对不同类型、不同特征的图像一样具有很好的准确度,充分表明了该算法比传统方法具有更高的精度和更好的鲁棒性。

参考文献:

- [1] TAI S, YANG S. A fast method for image noise estimation using Laplacian operator and adaptive edge detection[C]// Proceedings of the 2008 International Symposium on Communications, Control and Signal Processing. Piscataway: IEEE, 2008: 1077–1081.
- [2] MAN J, SHEN J. A method of image noise estimate[J]. Journal of

- Natural Science of Human Normal University, 2008, 31(2): 44–47. (满家巨, 沈军. 一种图像噪声准确估计方法[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2008, 31(2): 44–47.)
- [3] DONOHO D, JOHNSTONE I. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[J]. Biometrika Trust Stable, 1994, 81(3): 425–455.
- [4] LI T, WANG M, WU Y, *et al.* Wavelet-based approach for estimating the variance of noise in images[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2012, 38(9): 1402–1407. (李天翼, 王明辉, 吴亚娟, 等. 图像噪声方差的小波域估计算法[J]. 北京工业大学学报, 2012, 38(9): 1402–1407.)
- [5] OLSEN S. Estimation of noise in images: an evaluation[J]. Graphical Models and Image Processing, 1993, 5(4): 319–323.
- [6] AISHY A, ERIC D, AMAR M. Reliable and fast structure-oriented video noise estimation[C]// Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE, 2002: 1-840–1-843.
- [7] BILCU R, VEHVILAINEN M. A new method for noise estimation in images[C]// Proceedings of the 2005 IEEE EURASIP International Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. Piscataway: IEEE, 2005: 18–20.
- [8] LAI S, JIA D. Image noise estimation based on block neighborhood relevance[J]. Computer and Modernization, 2009(12): 82–84. (赖施成, 贾洞. 基于块内邻域相关度的图像噪声估计[J]. 计算机与现代化, 2009(12): 82–84.)
- [9] WU Q, CHI Y, WANG Z. A smoothing-based noise estimation method of the image based on local homogeneity measurement[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(3): 130–134. (吴强, 迟耀斌, 王智勇. 局部同质性测度的平滑式图像噪声估计[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 130–134.)
- [10] WANG Z, ZHANG L. An adaptive fast non-local image denoising algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4): 669–675. (王志明, 张丽. 自适应的快速非局部图像去噪算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4): 669–675.)
- [11] LI T, WANG M, CHANG H, *et al.* An entropy-based estimation of noise variance in wavelet domain[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011, 34(5): 1–5. (李天翼, 王明辉, 常化文, 等. 基于熵检测的图像噪声方差小波域估计[J]. 北京邮电大学学报, 2011, 34(5): 1–5.)
- [12] LIU X, MASAYUKI T, MASATOSHI O. Noise level estimation using weak textured patches of a single noisy image[C]// Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE, 2012: 665–668.
- [13] IMMERKAER J. Fast noise variance estimation[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1996, 64(2): 300–302.
- [14] TAREL J, HAUTIERE N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Computer Vision. Piscataway: IEEE, 2009: 2201–2208.