



# 目 录

一、 绪论.....	1
(一) 选题背景和研究意义 .....	1
(二) 国内外研究现状 .....	1
1. 基于图像增强的去雾方法 .....	1
2. 基于图像复原的去雾方法 .....	2
3. 图像去雾对图像压缩的影响 .....	3
(三) 研究内容 .....	3
1. 本文主要工作.....	3
2. 论文结构安排.....	4
二、 基于暗通道的图像去雾 .....	6
(一) 基于暗通道的去雾原理 .....	6
1. 雾天图像模型.....	6
2. 暗通道特性 .....	6
3. 利用暗通道特性的图像去雾 .....	6
(二) 算法程序实现与仿真 .....	7
三、 两种滤波器在图像去雾上的应用 .....	9
(一) 引导滤波器的原理 .....	9
(二) 双边滤波器的原理 .....	10
(三) 滤波器在图像去雾上的应用 .....	11
1. 转移纹理结构法.....	11
2. 直接去噪法 .....	11
(四) 算法程序实现与仿真 .....	12
四、 彩色图像的压缩 .....	14
(一) 彩色图像压缩简介 .....	14
(二) 算法程序实现与仿真 .....	14
五、 两种去雾滤波器对图像压缩的影响 .....	17
(一) 理论分析 .....	17
(二) 算法程序实现与仿真 .....	18
六、 总结与展望.....	24
参考文献.....	25
附 录.....	27
谢 辞.....	30

## 摘 要

为了在图像传输后获得更为清晰的去雾图像,本课题探讨了引导滤波器与双边滤波器用于图像去雾时,对图像压缩的影响。本课题以 MATLAB 为仿真工具,通过调整引导滤波器的窗口大小与调整系数,及双边滤波器的几何范围与强度范围,以获得解压重构图像的峰值信噪比与块效应,得出了如下结论:用双边滤波器进行单幅图像去雾,效果虽然不及引导滤波器,但是其解压重构图像的峰值信噪比,在稳健性方面明显强于使用引导滤波器的,而使用引导滤波器对图像先去雾后压缩,在峰值信噪上表现出明显的恶化趋势。

## 关 键 词

图像去雾; 图像压缩; 引导滤波器; 双边滤波器; 峰值信噪比; 块效应

## ABSTRACT

To obtain good dehazed images at the receiver, this research makes an investigation in the case that using guided filter and bilateral filter to remove haze of images and then compressing dehazed images respectively. Using MATLAB as simulation tool, window size and regulation parameter of guided filter, as well as geometric spread and photometric spread of bilateral filter, are adjusted to obtain corresponding Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and blocking artifacts data of decompressed and reconstructed images. It can be concluded that the bilateral filter's robustness in PSNR performs better than guided filter's, though the guided filter is a better choice in single image removal. Using guided filter to dehaze and then compress image is easy to deteriorate in PSNR.

## KEY WORDS

Image dehazing; image compression; guided filter; bilateral filter; Peak Signal to Noise Ratio; blocking artifacts

## 一、绪论

室外监控设备的拍摄常常受到恶劣环境因素的影响。随着雾霾天气越来越频繁的发生,如何更有效地进行图像去雾并传输,以便监控者能正常观测,是室外监控系统工程师亟需考虑的问题。滤波器是图像去雾的必要工具,而在图像传输前又必须对图像进行压缩。因此,为了设计适应雾霾天气的室外监控系统,深入研究去雾滤波器对图像压缩的影响是非常必要的。

本章首先介绍课题的选题背景和研究意义,然后系统分析国内外的相关研究工作,最后是论文的主要研究内容及其结构安排。

### (一)选题背景和研究意义

室外监控系统在人们的日常生活中被广泛应用。若监测摄像头摆放在一个雾霾频发的地区,那么这种恶劣的环境必然会影响到摄像头的拍摄质量。最直接的影响就是造成所拍摄图像的对比度降低同时影响色调。室外监控系统时常需要进行图像的远距离传输,若直接将雾图像进行传输,那么终端所得到的图像质量必然也是很差的。对有雾图像进行去雾是室外监控系统传输清晰图像的必要手段。传输图像之前需要对图像进行压缩,因此研究去雾滤波器对图像压缩的影响具有重要意义。

### (二)国内外研究现状

图像去雾是图像处理领域新兴起的一个分支,近年来,大量有关去雾的新算法被国内外研究学者所提出。研究领域从最开始的多幅图像去雾到现在主流的单幅图像去雾,更有学者正在致力于研究图像去雾对图像压缩的影响。通过相关文献的研究与分析可以发现,去雾算法主要有基于图像增强和图像复原两种,下面将对这些学者的研究工作进行总结。

#### 1. 基于图像增强的去雾方法

基于图像增强的去雾方法能有效提高图像的清晰程度。此方法的本质,是从清晰图像的特点出发,突出图像细节,同时调整雾天图像的对比度。图像增强法可根据增强的范围分为两大类<sup>[1]</sup>:局部增强和全局增强。它们又可进一步划分为局部直方图均衡化、局部方差方法、局部对比度增强和全局直方图均衡化、小波变换、同态滤波、Retinex等。下面对其中经典的方法进行介绍。

Retinex理论能够有效地增强图像的亮度,复原图像的色彩,其主要包括单尺度Retinex算法(Single Scale Retinex, SSR)、多尺度加权平均的Retinex算法(Multi-Scale Retinex, MSR)和带彩色恢复的多尺度Retinex算法(Multi-Scale Retinex with Color Restoration, MSRCR)。芮义斌等人<sup>[2]</sup>采用正态截取拉伸的原理,

基于 Retinex 理论对图像增强算法进行了改进, 但该算法仅在薄雾图像上取得了较好的效果, 在浓雾图像上表现的并不理想。Agaian 等人<sup>[3]</sup>基于 HSV 空间的人类视觉模型, 将有雾图像的直方图调整为更均匀的分布, 并采用对比度自适应直方图均匀化(Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE)原理来提高图像的对比度与亮度。

除了 Retinex 理论, 众多学者还将小波变换理论应用于基于图像增强的去雾算法上。周树道等人<sup>[4]</sup>采用亮度小波变换和图像颜色改善法实现了图像的去雾处理。该算法首先对图像亮度分量进行小波变换, 再对变换后的低频亮度部分与高频亮度部分进行处理, 最后采用 SSR 算法和颜色复原等方法调整图像亮度从而得到去雾图像。He 等人<sup>[5]</sup>结合 bottom-hat 变换、top-hat 变换和小波变换提出了一种新型的去雾算法。该算法在提高图像的清晰度和对比度上有较好的效果, 但其缺陷是增强后的图像产生了额外的噪声。Desai 等人<sup>[6]</sup>将模糊逻辑理论应用于图像去雾上, 但该算法只适用于天空区域范围较大的有雾图像。

基于图像增强的去雾算法都能在一定程度上提高图像的对比度与清晰程度, 但是去雾后的图像颜色不够自然, 达不到很好的去雾效果。

## 2. 基于图像复原的去雾方法

基于图像复原的去雾方法主要是通过已建立的雾天图像模型<sup>[7,8]</sup>, 将有雾图像复原为无雾场景下的图像。国内外众多学者采用此模型提出了不同的算法, 并通过反演退化过程进行图像去雾, 其效果往往好于基于图像增强的去雾算法。

Narasimhan 等人<sup>[8]</sup>运用相同场景但不同大气条件的两幅图像去分析有雾图像的内在特点。他们在文献[9]中推导出在场景完全相同但是大气条件不同的两幅图像中, 只要介质传输函数比例相同, 那么这样的像素点就具有相同的深度, 根据此特点, 像素点可被归类组成深度图, 并且通过雾天图像反演退化过程进行去雾。Schechner 等人<sup>[10]</sup>则采用物理极化理论, 利用天空区域的像素点测量出大气光幕的极化角度, 进而估计出大气光幕, 但是该算法明显不能应用于无天空区域的有雾图像。因此 Shwartz 等人<sup>[11]</sup>提出了一种新型算法, 其本质是把传输函数与大气光幕假定为独立成分, 然后建立独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)模型寻求最优解, 当最优解被算出, 极化角度也可同时得到。但该算法在传输函数与大气光幕相关性较强时并不适用。Miyazaki 等人<sup>[12]</sup>采用了列文伯格-马夸尔特算法(Levenberg-Marquard, L-M), 计算出大气光幕的平行极化与垂直极化最优值, 再用所估计的最优值间接计算出极化角度。该算法需要场景中两种物体的距离信息, 但该距离信息并不容易得到。以上所提及的方法都有一个共同的缺点, 就是需要多幅图像进行去雾。下面将对单幅图像去雾的经典算法进行介绍。

Narasimhan 等人<sup>[13]</sup>提出了一种交互式算法实现图像去雾, 该算法需要用户

输入一些先验信息,例如无雾的区域,去估计被雾霾影响的图像成分,其虽能从整体上实现图像去雾,但是不能全自动去雾。Tan 等人<sup>[14]</sup>利用无雾图像高对比度的特点,以及有雾图像大气光幕的局部平滑特性,实现了单幅图像的全自动去雾,但是所得到的去雾图像往往过于饱和。Fattal 等人<sup>[15]</sup>也提出了另一种单幅图像全自动去雾算法,他们假设场景表面投影和光的传播在局部是不相关的,进而解决了有雾图像数据的模糊性问题。此算法的本质是解决了大气模型中的非线性问题,但是对含厚雾的图像或者没有局部不相关性的区域时,并不适用。与 Tan 和 Fattal 相比,He 等人<sup>[16]</sup>提出了一种更加有效的去雾算法,他发现在无雾图像中,大部分非天空区域的图像块,都存在一些在某个颜色通道上数值极低的像素点,并称这些通道为暗通道。利用暗通道的先验信息,He 等人较为精确地恢复了传输函数并有效地实现了去雾,但该算法对明亮区域并不适用,因为这样的区域不具有暗通道。

### 3. 图像去雾对图像压缩的影响

除了单一的研究图像去雾,近年来已经有学者在研究图像去雾对图像压缩的影响,其中最具有代表性的是 Gibson 等人的研究成果<sup>[17]</sup>。Gibson 首先对无雾图像进行人工加雾,再采用暗通道去雾算法<sup>[16]</sup>,分别对图像压缩前的有雾图像和图像压缩后的有雾图像进行去雾,最后在未加雾的原图像的辅助下,计算出解压去雾重构图像的峰值信噪比和块效应,结果表明在图像压缩前进行去雾的效果要比图像压缩后进行去雾的效果更好。

虽然 Gibson 得出了在图像压缩前进行去雾效果更好的结论,但是他们在去雾滤波器对图像压缩的影响上并没有进行深入的探讨。本课题将采用文献[16]中的暗通道算法,在文献[17]中 Gibson 等人结论的基础上,进一步探讨去雾滤波器对图像压缩的影响。

## (三)研究内容

### 1. 本文主要工作

目前,越来越多的学者开始关注有雾图像的增强复原方法。在(一)2.节中,本论文已经对前人的研究成果做了较为全面的总结。虽然针对单幅图像去雾已经有众多学者提出了自己的算法,但是大多数人都没有深入探讨图像去雾对图像压缩的影响。图像压缩是图像传输前的必要环节,研究图像去雾对图像压缩的影响有重大意义。针对目前的研究现状,本文将研究重点放在两种常用去雾滤波器——双边滤波器与引导滤波器对图像压缩的影响上,主要研究内容包括基于暗通道的图像去雾、引导滤波器与双边滤波器的设计原理及其在图像去雾上的应用和彩色图像的压缩。软件仿真环境为 MATLAB。图 1-1 为本课题的结构框图。

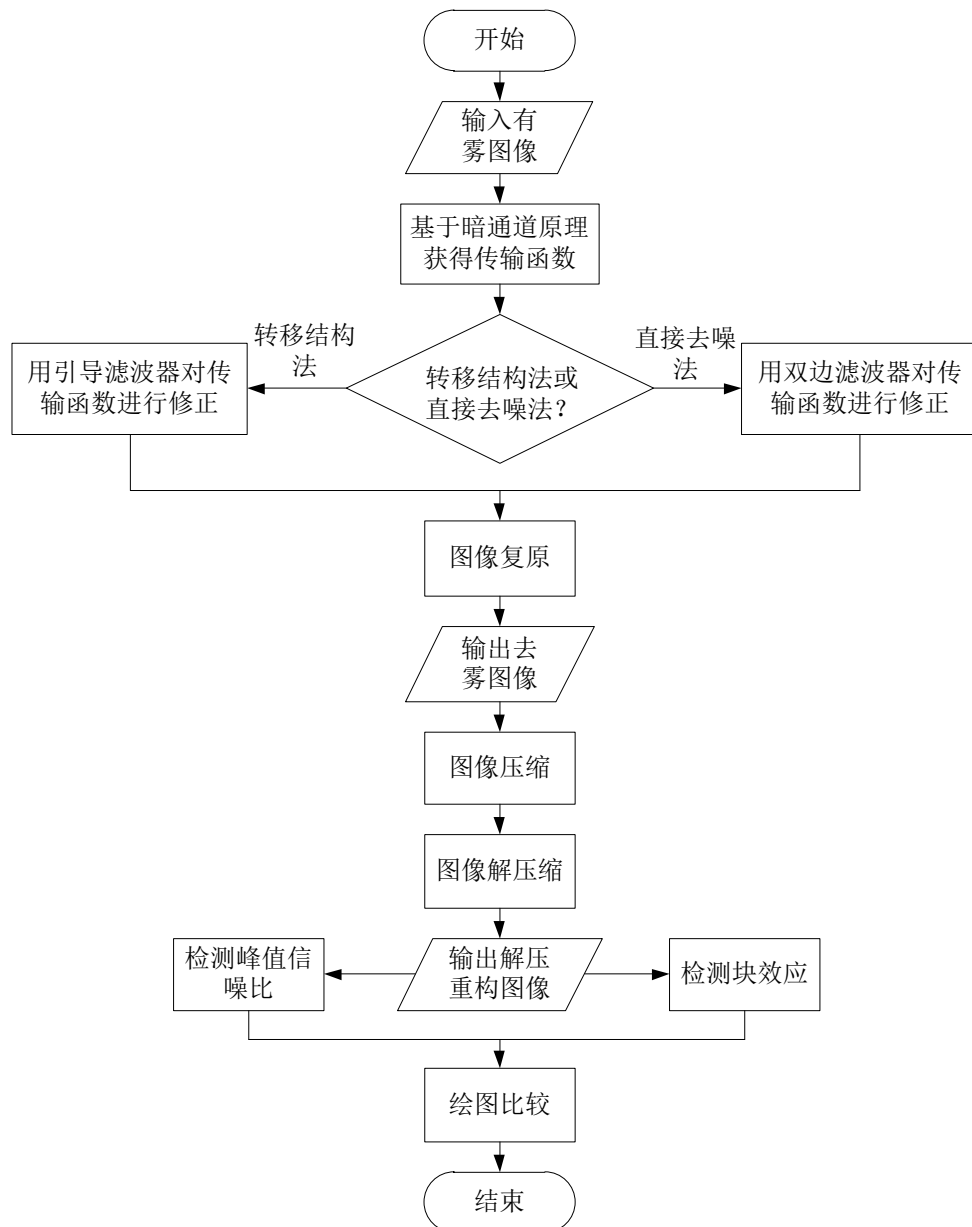


图 1-1 本课题结构框图

## 2. 论文结构安排

本论文共分为六章，论文结构和章节安排如下：

第一章：绪论部分，主要介绍本课题的选题背景和研究意义，并对课题的国内外研究现状进行综述，最后概述本文的主要研究内容及论文的结构安排。

第二章：介绍基于暗通道的图像去雾原理。首先分析雾天图像模型，然后介绍无雾图像的暗通道特性，最后介绍利用此特性进行图像去雾的算法。

第三章：介绍双边滤波器与引导滤波器在图像去雾上的应用。首先分析滤波器的设计原理，然后介绍滤波器在暗通道算法上的应用，最后对使用这两种滤波器的去雾算法进行仿真。

第四章：介绍彩色图像压缩的原理。首先介绍图像压缩的步骤，再对每一步

骤进行详细分析，最后对图像压缩算法进行仿真。

第五章：介绍两种去雾滤波器对图像压缩的影响。首先从理论上分析使用引导滤波器的去雾算法与使用双边滤波器的去雾算法对图像压缩的影响，再用仿真结果进行验证，最后对它们进行比较。

第六章：总结与展望。对本论文所做的工作进行全面的总结，并提出进一步研究方向与不足之处。



## 二、基于暗通道的图像去雾

### (一)基于暗通道的去雾原理

#### 1. 雾天图像模型

McCartney 在二十世纪八十年代提出了经典的大气散射模型<sup>[18]</sup>, Narasimhan 和 Nayar 在此基础上经过多年研究,建立了现在被广泛使用的雾天图像去雾模型<sup>[7,8]</sup>:

$$I(x) = J(x)t(x) + A[1-t(x)], \quad (2-1)$$

其中,  $I$  为所观测到的有雾图像,  $J$  为无雾场景,  $x$  为图像空间中的某一点,  $A$  为空气光线,  $t$  为介质传输函数。介质传输函数描述了直接到达摄像头而没有发生散射的光线。图像去雾的最终目的就是基于所得到的有雾图像  $I$ , 复原得到无雾图像  $J$ 。

在式(2-1)中, 右边等式第一项  $J(x)t(x)$  被称为直接衰减函数<sup>[14]</sup>, 第二项  $A[1-t(x)]$  被称为大气光幕<sup>[14,19]</sup>。直接衰减函数描述了无雾场景以及它在介质传输函数中的衰减, 而大气光幕则描述了无雾场景在雾的介质中所散射的光线与场景颜色的改变。直接衰减函数对无雾图像产生了乘性噪声, 而大气光幕对无雾图像产生了加性噪声。

在大气均匀的条件下, 传输函数  $t$  可定义为

$$t(x) = e^{-\beta d(x)}, \quad (2-2)$$

其中,  $\beta$  为大气散射系数,  $d$  为场景深度。式(2-2)表明传输函数与场景深度呈指数衰减关系。若能求得传输函数  $t$ , 则场景深度  $d$  也可推测出。

#### 2. 暗通道特性

He 等人在文献[16]中提出了无雾图像的暗通道特性: 在一幅无雾的图像中, 大部分非天空区域部分的图像块都包含至少在一个颜色通道上数值异常低的像素点。为了更加正式地描述图像的暗通道特性, 他将暗通道表示为

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y) \right], \quad (2-3)$$

其中,  $J^c$  是图像的单个颜色通道,  $\Omega(x)$  是以  $x$  为中心的局部图像块。显而易见, 暗通道  $J^{\text{dark}}$  是对原图像两次最小值运算的结果。文献[16]中解释了图像具有暗通道特性的原因并展示了众多室外图像的暗通道图。

#### 3. 利用暗通道特性的图像去雾

下面介绍基于暗通道的去雾原理, 以下推导过程均来自于文献[16]。将式(2-1)

变形为

$$\frac{I(x)}{A} = t(x) \frac{J(x)}{A} + 1 - t(x), \quad (2-4)$$

其中，空气光线  $A$  可根据浓雾区域像素的强度估计出来。假定传输函数  $t(x)$  在局部图像块  $\Omega(x)$  中是不变的，并将这样的传输函数表示为  $\tilde{t}(x)$ 。对式(2-4)两端进行两次最小值运算，即

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(y)}{A^c} \right] = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{J^c(y)}{A^c} \right] + 1 - \tilde{t}(x). \quad (2-5)$$

根据无雾图像的暗通道数值约等于 0 的特点，可知：

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y) \right] = 0. \quad (2-6)$$

因为空气光线  $A^c$  总是正值，可推得

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{J^c(y)}{A^c} \right] = 0. \quad (2-7)$$

把式(2-7)代入式(2-5)中，推导出传输函数，即

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(y)}{A^c} \right]. \quad (2-8)$$

若用式(2-8)所求得的传输函数直接进行图像的复原，那么所得去雾图像可能会不够自然，场景深度感不强，因此需对式(2-8)进行修正，即

$$\tilde{t}_{\text{coarse}}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(y)}{A^c} \right], \quad (2-9)$$

其中， $0 < \omega \leq 1$ 。

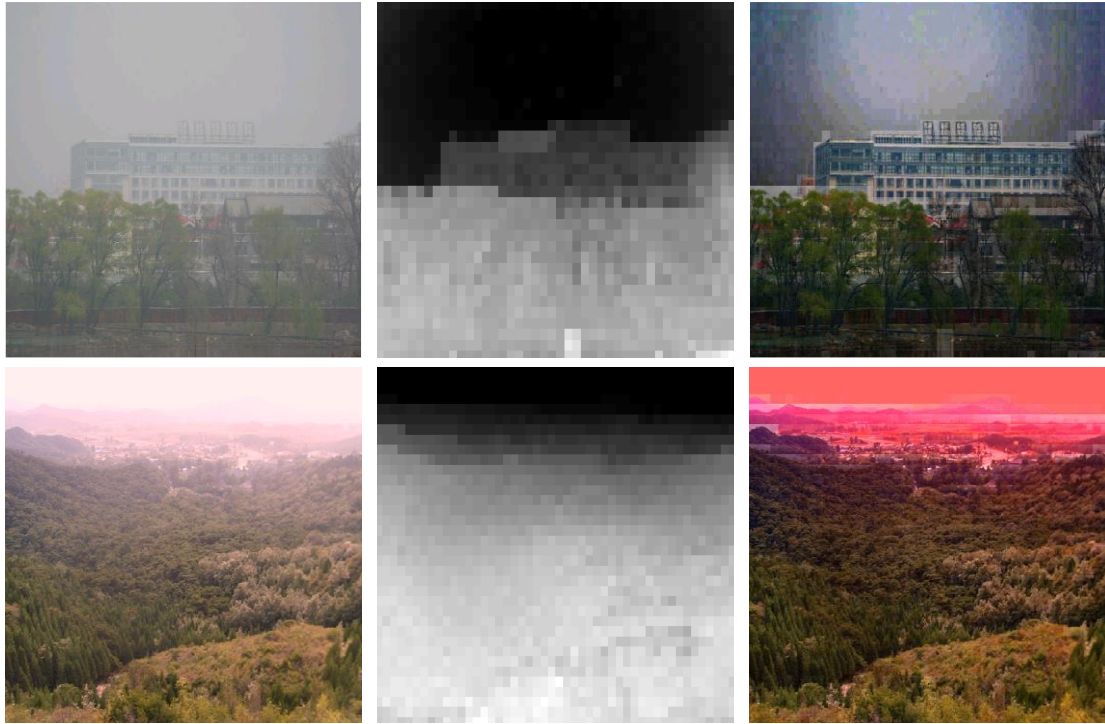
在求得空气光线和传输函数后，可根据式(2-1)进行无雾场景的复原，但是直接衰减函数  $J(x)t(x)$  在某些像素点上可能会非常趋近于 0，若不对这些像素点进行处理而直接复原无雾场景，那么复原出来的图像在这些像素点上会有严重的噪声，因此需对  $\tilde{t}(x)$  设置最小值。这样，最终的图像去雾函数可表示为

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(\tilde{t}_{\text{coarse}}(x), t_0)} + A. \quad (2-10)$$

其中， $t_0$  为传输函数的最小值。

## (二) 算法程序实现与仿真

图 2-1 列举了两组有雾图像以及它们基于暗通道的图像去雾结果。可以看到，虽然图像整体上实现了去雾，但是具有明显的光晕，这是因为传输函数在局部并不是总是不变的<sup>[15]</sup>。第三章将讨论如何用滤波器修正传输函数。



(a) 有雾图像

(b) 传输函数

(c) 去雾图像

图 2-1 基于暗通道的图像去雾

### 三、两种滤波器在图像去雾上的应用

#### (一)引导滤波器的原理

He 等人在文献[20]中提出了引导滤波器的算法,引导滤波器是利用局部线型模型设计的一种滤波器,通过预先指定的引导图对图像进行滤波,滤波后的图像具有与引导图相似的特征。下面对这种滤波器进行理论推导,以下推导过程均来自于文献[20]。

设计引导滤波器最关键的一点,是假定在局部窗口内,引导图像和滤波输出成线性关系,即

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k, \quad (3-1)$$

其中,  $q_i$  是滤波输出,  $a_k$  与  $b_k$  是线性系数,  $I_i$  是引导图像,  $\omega_k$  是以  $k$  为中心的窗口。为了确定  $a_k$  与  $b_k$  的值, 需要利用滤波输入  $p$  作为约束条件。假设滤波输出  $q$  是滤波输入  $p$  减去多余的成分(噪声、纹理等)得到的, 即

$$q_i = p_i - n_i, \quad (3-2)$$

其中,  $n_i$  为多余的成分(噪声、纹理等)。

为了尽量缩小滤波输出图像与滤波输入图像间的差异,同时保持引导滤波器的局部线性,需对式(3-2)求最小解,即

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in \omega_k} [(a_k I_i + b_k - p_i)^2 + \varepsilon a_k^2], \quad (3-3)$$

其中,  $\varepsilon$  是调整系数,其用途是惩罚过大的  $a_k$ , 对式(3-3)求解得:

$$a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} I_i p_i - \mu_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \varepsilon}, \quad (3-4)$$

$$b_k = \bar{p}_k - a_k \mu_k, \quad (3-5)$$

其中,  $\mu_k$  和  $\sigma_k^2$  分别是引导图像在以  $k$  为中心的窗口  $\omega_k$  内的强度平均值和方差,  $\bar{p}_k$  是滤波输入图像  $p$  在以  $k$  为中心的窗口  $\omega_k$  内的强度平均值。由于每个图像的像素点  $i$  存在被多个不同窗口  $\omega_k$  包含的情况,因此会有多个不同的滤波输出  $q_i$ , 最简单的办法是对它们取平均值, 即

$$\bar{a}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_i} a_k, \quad \bar{b}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_i} b_k. \quad (3-6)$$

把式(3-6)代入式(3-1)中, 得

$$q_i = \bar{a}_i I_i + \bar{b}_i. \quad (3-7)$$

便可得到引导滤波器。以上推导可扩展至彩色图像请参阅文献[20]。

## (二)双边滤波器的原理

高斯低通滤波器计算了图像某个邻域内所有元素的加权平均值,其中权重与邻域内像素距邻域中心的距离成反比,可用数学式表示为

$$h(x) = k_d^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) c(\xi, x) d\xi, \quad (3-8)$$

其中,  $f(\xi)$  为邻域内像素点  $\xi$  上的强度,  $c(\xi, x)$  描述了邻域内像素与邻域中心  $x$  的几何相似度。若低通滤波是为了保持信号的直流成分,则有

$$k_d(x) = \int_{-\infty}^{\infty} c(\xi, x) d\xi. \quad (3-9)$$

通常图像强度在局部空间内变化得很缓慢,但是随机噪声与空间并没有这样的关系。因此对图像进行高斯低通滤波,即可在保持有用信号的同时将噪声平均分散减弱,更加全面的数理解释可参阅文献[21]。

高斯低通滤波器虽然可对图像进行去噪,但是却模糊了图像的边缘成分,因为其假定图像强度在局部空间是变化平缓的,但显然边缘两侧像素强度的变化是较大的。为了解决这一问题, Tomasi 等人<sup>[22]</sup>将邻域内像素与邻域中心的强度相似程度考虑进去。与几何相似度类似,邻域内与邻域中心强度相似度越高的像素,所具有的权重也越高,可用数学式表示为

$$h(x) = k_r^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) s(\xi, x) d\xi, \quad (3-10)$$

其中,  $s(\xi, x)$  描述了邻域内像素距邻域中心的强度相似度,  $k_r(x)$  可表示为

$$k_r(x) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\xi, x) d\xi. \quad (3-11)$$

结合式(3-8)与式(3-10),可以得到兼具去噪与保持边缘性能的双边滤波器,即

$$h(x) = k^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) c(\xi, x) s(\xi, x) d\xi, \quad (3-12)$$

其中,  $k(x)$  为

$$k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} c(\xi, x) s(\xi, x) d\xi. \quad (3-13)$$

若双边滤波器为高斯型的,则有

$$c(\xi, x) = e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{d(\xi, x)}{\sigma_d} \right]^2}, \quad s(\xi, x) = e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{\delta(\xi, x)}{\sigma_r} \right]^2}, \quad (3-14)$$

其中,  $d$  为邻域内某一像素点  $\xi$  与邻域中心  $x$  在空间上的欧式距离,  $\sigma_d$  为几何范围,  $\delta$  为邻域内某一像素点  $\xi$  与邻域中心  $x$  在强度上的差值,  $\sigma_r$  为强度范围。几何范围越大,空间距离大的点对滤波输出的影响就越大;强度范围越大,强度距离大的点对滤波输出的影响就越大。

### (三)滤波器在图像去雾上的应用

#### 1. 转移纹理结构法

由式(2-9)所得的传输函数只是一个大致的估计,其假设邻域内场景深度是不变的,从图 2-1(b)可以看出求得的传输函数图像非常粗糙,因此必须对其进行修正。由式(2-2)可知,传输函数与场景深度为指数关系。场景深度实际上在大部分邻域内是缓慢变化的,只有在小部分邻域内存在突变,即传输函数图中的边缘。修正传输函数图就是对局部假定不变的场景深度进行微调,并突出深度突变的区域(边缘)。

在文献[20]中 He 等人利用引导滤波器可将引导图纹理结构转移至滤波输入图像的特点,以有雾图像为引导图,传输函数图像为滤波输入图像,对传输函数图像进行修正,修正后的图像可表示为

$$\tilde{t}_{\text{accurate}}(i) = \bar{a}_i \mathbf{I}_i + \bar{b}_i, \quad (3-15)$$

$$\bar{a}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_i} a_k, \quad \bar{b}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_i} b_k, \quad (3-16)$$

$$a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{\xi \in \omega_k} \mathbf{I}_\xi \tilde{t}_{\text{coarse}}(\xi) - \mu_k \tilde{t}_{\text{coarse}}^k}{\sigma_k^2 + \varepsilon}, \quad b_k = \tilde{t}_{\text{coarse}}^k - a_k \mu_k, \quad (3-17)$$

其中,  $\mathbf{I}$  为有雾图像,  $\tilde{t}_{\text{coarse}}$  为式(2-9)所得的粗糙传输函数,  $\tilde{t}_{\text{coarse}}^k$  是滤波输入图像  $\tilde{t}_{\text{coarse}}$  在以  $k$  为中心的窗口  $\omega_k$  内的强度平均值,  $\omega$  为窗口大小,  $\mu_k$ 、 $\sigma_k^2$  和  $\varepsilon$  的定义在前面引导滤波器的原理中已经介绍,  $\tilde{t}_{\text{accurate}}$  为修正后的传输函数。

#### 2. 直接去噪法

转移纹理结构法的本质是将有雾图像的纹理结构转移至传输函数,对局部场景深度进行微调。本文参阅文献[23],提出了一种计算传输函数的新方法。

首先,对式(2-4)两端只进行一次最小值变换,即

$$\min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{I^c(y)}{A^c} \right] = t(x) \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{J^c(y)}{A^c} \right] + 1 - t(x). \quad (3-18)$$

再对式(3-18)进行变形,即

$$t(x) - t(x) \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{J^c(y)}{A^c} \right] = 1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{I^c(y)}{A^c} \right]. \quad (3-19)$$

由于没有对图像进行块处理,大部分暗通道  $\min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{J^c(y)}{A^c} \right]$  的值并不能约等于 0,

甚至有些通道不是暗通道。因此,本文把  $t(x) \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{J^c(y)}{A^c} \right]$  称作场景深度噪声  $\psi$ ,

将其代入式(3-19)中，得

$$t(x) + \psi = 1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{I^c(y)}{A^c} \right], \quad (3-20)$$

其中，将  $1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{I^c(y)}{A^c} \right]$  称为传输函数  $\bar{t}$ ，与式(2-8)得到的传输函数  $\tilde{t}$  不同， $\bar{t}$  包含了精确的传输函数信息，但这种信息被加性的场景深度噪声  $\psi$  干扰了，如果能对其进行去噪，便可得到精确的传输函数图像，下面将讨论如何去噪。

首先，因为  $\psi$  为负噪声，因此对式(3-20)进行加性修复，得到粗糙传输函数  $\bar{t}_{\text{coarse}}$ ，即

$$\bar{t}_{\text{coarse}}(x) = t(x) + \psi' = 1 - \omega \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{I^c(y)}{A^c} \right], \quad (3-21)$$

其中， $\psi'$  是被减弱后的噪声， $\omega$  是减弱系数，用来设置噪声削弱程度。

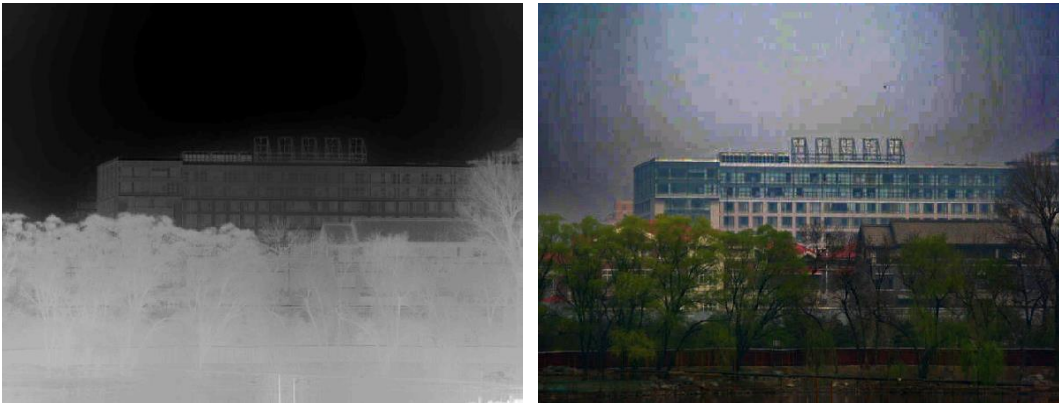
其次，由于传输函数只与场景深度有关，而场景深度具有局部平滑性，除了在某些边界处发生较大突变外，在大部分区域都是平滑的<sup>[14]</sup>，这种特性非常适合用双边滤波器对其去噪，即

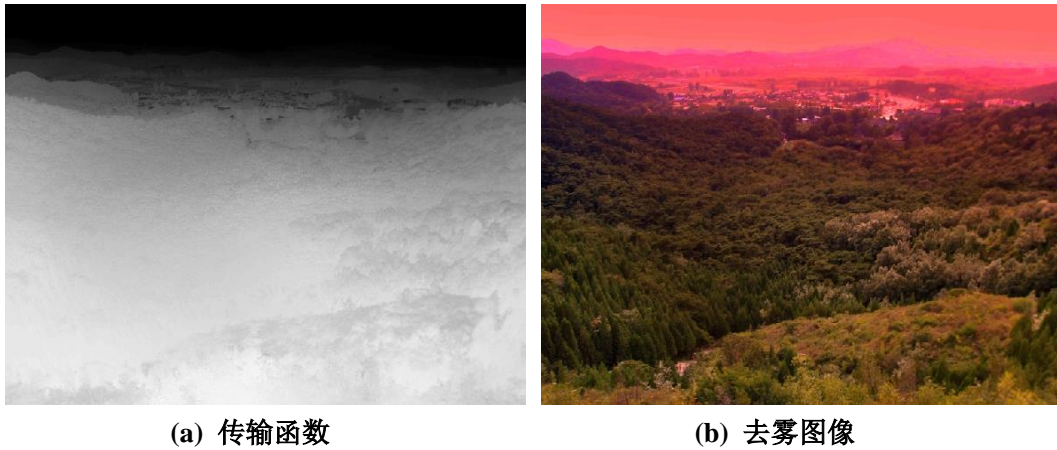
$$\bar{t}_{\text{accurate}}(i) = k^{-1}(i) \sum_{x \in \omega_i} c(x, i) s(x, i) \bar{t}_{\text{coarse}}(x), \quad (3-22)$$

这里， $c$  和  $s$  是双边滤波器的核函数， $\omega_i$  是以  $i$  为中心的邻域， $k$  是归一化常数，其具体含义见式(3-13)， $\bar{t}_{\text{coarse}}$  是粗糙传输函数， $\bar{t}_{\text{accurate}}$  是去噪完成后的传输函数。

#### (四) 算法程序实现与仿真

图 3-1 展示了用转移纹理结构法所得到的去雾结果，测试图像为图 2.1(a)，可以看出，和图 2-1(b)相比，用转移纹理结构法所得的传输函数具有丰富的细节，去雾后的图像图 3-1(b)不再像图 2-1(c)具有明显的光雾。



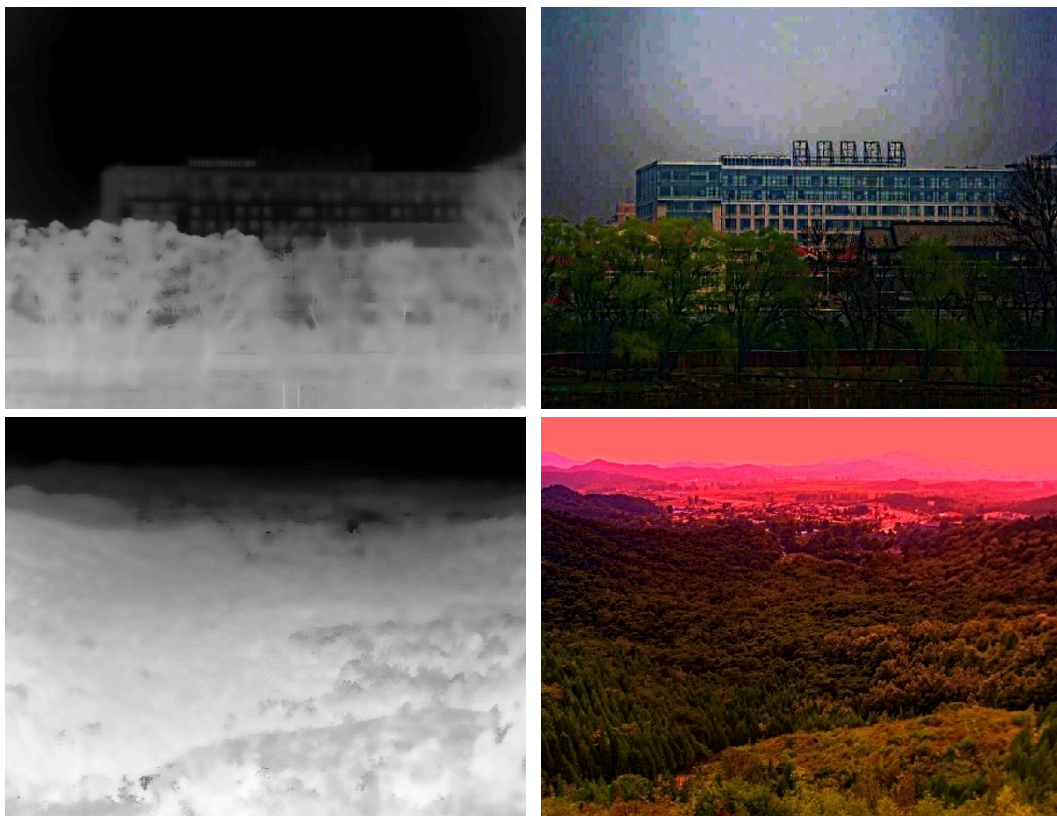


(a) 传输函数

(b) 去雾图像

图 3-1 去雾结果(转移纹理结构法)

图 3-2 展示了用直接去噪法进行去雾所得到的结果。原图同样是图 2-1(a)。可以看出，和图 2-1(b)相比，用直接去噪法所得到的传输函数块效应消失，局部具有微小变化。去雾表现也比图 2-1(c)提高了许多。



(a) 传输函数

(b) 去雾图像

图 3-2 去雾结果(直接去噪法)



## 四、彩色图像的压缩

### (一)彩色图像压缩简介

图像传输前需要对图像进行压缩,目前主流的压缩标准之一是联合图像专家组(Joint Photographic Experts Group, JPEG),下面将对这种压缩方式进行简要介绍,更详细的过程请参阅文献[24]。

(1) 将图像从 RGB 色彩空间转换到 YUV 色彩空间。

(2) 对图像进行电平平移,具体操作是减去  $2^{p-1}$ ,  $p$  为精度参数。

(3) 对图像进行分块处理,保证每一方块都为  $8 \times 8$  的矩阵。若图像的行或列不是 8 的倍数,则必须进行拓展。

(4) 对图像每一矩阵块进行离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT),即

$$S_{vu} = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 s_{yx} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}, \quad (4-1)$$

$$C_u, C_v = 1/\sqrt{2} \quad (u, v = 0), \quad (4-2)$$

$$C_u, C_v = 1 \quad (u, v \neq 0), \quad (4-3)$$

其中,  $s$  为变换前的矩阵块。对矩阵块进行 DCT 变换后,左上部分代表图像的低频,右下部分代表图像的高频,图像的大部分能量都集中在低频处。

(5) 对图像每一矩阵块进行量化,即

$$Sq_{vu} = \text{round} \left( \frac{S_{vu}}{Q_{vu}} \right), \quad (4-4)$$

其中,  $Sq_{vu}$  是量化后的 DCT 系数,  $Q_{vu}$  是量化表。量化会造成图像能量的损失,但是损失的主要是高频能量,而图像的能量主要集中在低频,所以只要恰当选取量化系数,对于解压出来的图像,人眼几乎察觉不出失真。

(6) 对量化后的 DCT 系数进行编码。编码前需对每一分块系数矩阵进行 Zigzag 扫描,且低频分量和高频分量需采用不同的码表。

### (二)算法程序实现与仿真

本章仿真采用的测试图像均为 Lena 标准彩色测试图,如图 4-1 所示,其大小为  $512 \times 512$ , 24 比特/像素。



图 4-1 Lena 标准彩色测试图像

图 4-2 展示了对图 4-1 压缩时采用不同亮度量化系数的比特率(色度量化系数设为 1)。可以看出亮度量化系数越大，比特率越小，即压缩程度越高。

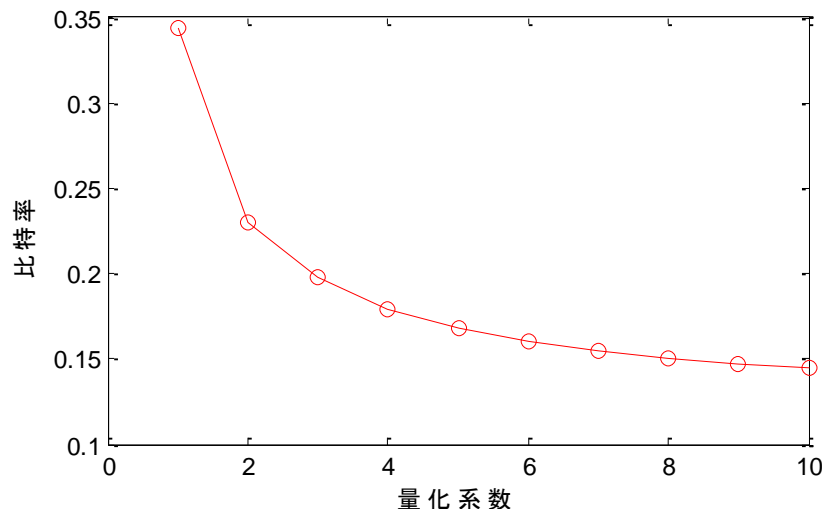


图 4-2 不同量化系数的比特率

图 4-3 展示了不同比特率所对应的块效应和峰值信噪比。本文采用的测量块效应的方法是文献[25]中所提出的一种非参照性算法。可以看出压缩程度越低时，峰值信噪比越高，块效应越少，即图像的质量越好。

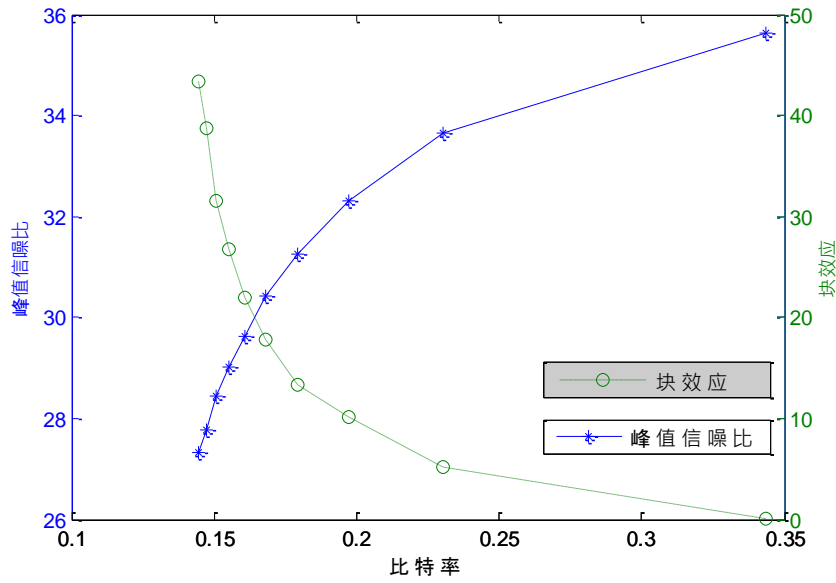
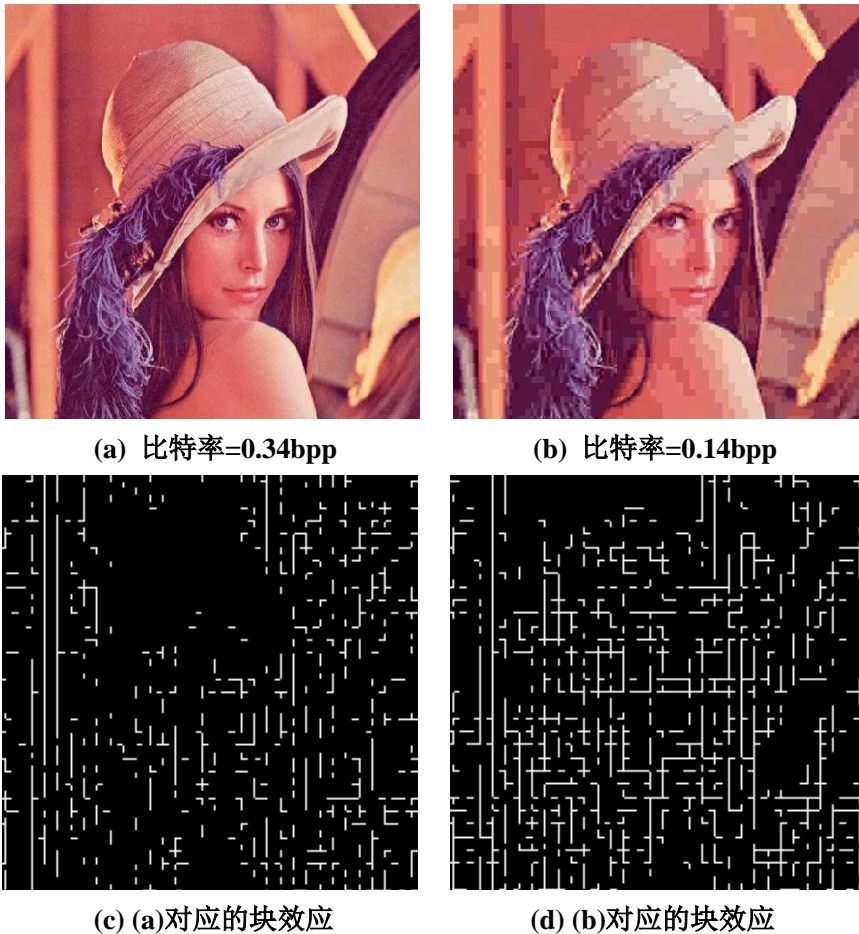


图 4-3 峰值信噪比、块效应与比特率的关系

图 4-4 展示了比特率分别为 0.34bpp 和 0.14bpp 的解压重构图像，以及对应的块效应灰度图。可以看出，比特率为 0.34bpp 的图像，质量明显好于比特率为 0.14bpp 的图像，并且块效应也要少得多。



(a) 比特率=0.34bpp

(b) 比特率=0.14bpp

(c) (a)对应的块效应

(d) (b)对应的块效应

图 4-4 不同比特率的重构图像及其块效应灰度图(Lena)

## 五、两种去雾滤波器对图像压缩的影响

本文前面章节主要介绍了基于暗通道的图像去雾、滤波器在图像去雾上的应用以及图像压缩的原理。该章将分别以转移纹理结构法与直接去噪法为例，分析引导滤波器与双边滤波器用于图像去雾时，对图像压缩的影响。具体代码请参见附录 1。

### (一)理论分析

当图像进行解压缩时，有可能会出现问题振铃效应，这是因为在压缩过程中，量化造成了某些频率成分损失。本文参阅文献[17]，对频率分量的损失进行推导。

假设有雾图像为  $I$ ，根据式(2-10)得

$$J^c(x) = \frac{I^c(x) - A^c}{T(x)} + A^c, \quad (5-1)$$

其中， $T$  是用转移纹理结构法或直接去噪法所得到的传输函数。

对去雾图像  $J^c$  做 DCT 变换，即

$$S_{vu} = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 J_i^c(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}, \quad (5-2)$$

这里， $J_i^c$  表示  $J^c$  的第  $i$  个矩阵块。把式(5-1)代入式(5-2)中，忽略 DCT 变换后的直流分量，即

$$S_{vu} = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \frac{I_i^c(x, y) - A}{T_i(x, y)} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}. \quad (5-3)$$

下一步是对 DCT 变换后的矩阵进行量化，即

$$S_{vu}^q = \left\lfloor \frac{S_{vu}}{q(v, u)} + \frac{1}{2} \right\rfloor, \quad (5-4)$$

其中， $q(v, u)$  为量化因子，运算符  $\left\lfloor x + \frac{1}{2} \right\rfloor$  表示对  $x$  四舍五入取整。因此，当

$$\frac{S_{vu}}{q(v, u)} < \frac{1}{2}, \quad (5-5)$$

频率  $(v, u)$  处的能量将被消除，这也是 JPEG 标准造成能量损耗的主要原因。若将频率  $(v, u)$  处的能量被消除的概率表示为

$$P \left[ |S_{vu}| < \frac{1}{2} q(v, u) \right]. \quad (5-6)$$

把式(5-3)代入式(5-6)中，即

$$P \left[ \left| \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \frac{I_i^c(x, y) - A^c}{T_i(x, y)} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right| < \frac{1}{2} q(v, u) \right]. \quad (5-7)$$

结合第二章和第三章的内容,可知导致去雾结果不同的原因主要是所求得的 $T$ 的差异,由于 $T$ 在局部是缓慢变化的,因此可将第 $i$ 个矩阵块的 $T$ 当作常数,则式(5-7)变为

$$P \left\{ \frac{1}{T_i} \left| \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 [I_i^c(x, y) - A^c] \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right| < \frac{1}{2} q(v, u) \right\}. \quad (5-8)$$

为了便于分析,将式(5-8)写成

$$P \left\{ \Phi_{v,u} [K_i(x, y)] < \frac{1}{2} q(v, u) T_i \right\}, \quad (5-9)$$

$$K_i(x, y) = I_i^c(x, y) - A^c, \quad (5-10)$$

其中,  $\Phi_{v,u}(x)$ 表示对 $x$ 做DCT变换后频率点 $(u, v)$ 上的能量。

基于图像复原的去雾,其主要差别在于求取传输函数 $T$ 算法的不同,它们在去雾时所用的 $K$ 是一致的(假设求得的大气光 $A^c$ 是准确的)。因此,根据式(5-9),在 $K_i(x, y)$ 相同的情况下, $T_i$ 越小,在频率 $(v, u)$ 处的能量被消除的概率也就越小。

回顾第三章,可知用转移纹理结构法和直接去噪法去雾时,所求得的粗糙传输函数分别为

$$\tilde{t}_{\text{coarse}}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(y)}{A^c} \right], \quad (5-11)$$

$$\bar{t}_{\text{coarse}}(x) = 1 - \omega \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[ \frac{I^c(y)}{A^c} \right], \quad (5-12)$$

易得

$$\tilde{t}_{\text{coarse}}(x) \geq \bar{t}_{\text{coarse}}(x). \quad (5-13)$$

由于修正粗糙传输函数是基于传输函数在局部区域变化缓慢的特性得到的,因此可知修正后的传输函数,大部分依然具有如下关系:

$$\tilde{t}_{\text{accurate}}(x) \geq \bar{t}_{\text{accurate}}(x). \quad (5-14)$$

把式(5-14)代入式(5-9)中,易得

$$\tilde{P} \left\{ \Phi_{v,u} [K_i(x, y)] < \frac{1}{2} q(v, u) \tilde{t}_{\text{accurate}} \right\} > \bar{P} \left\{ \Phi_{v,u} [K_i(x, y)] < \frac{1}{2} q(v, u) \bar{t}_{\text{accurate}} \right\}. \quad (5-15)$$

即相比于用直接去噪法进行去雾再压缩,用转移结构法进行去雾再压缩,更容易造成图像能量的损失而产生振铃效应。

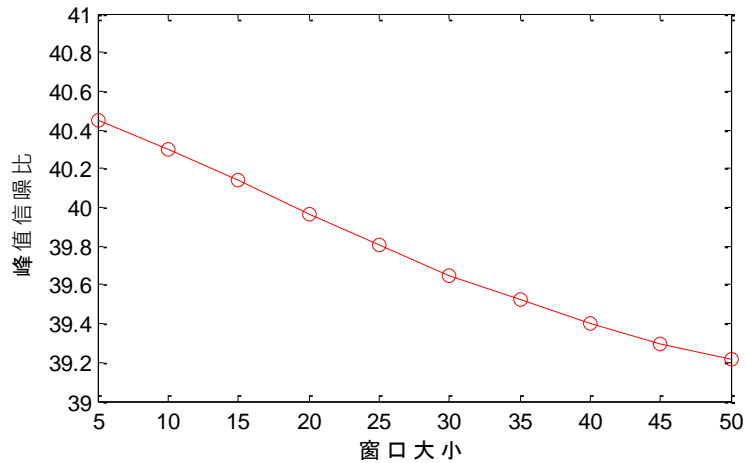
## (二) 算法程序实现与仿真

上节分析了转移纹理结构法与直接去噪法对图像压缩的影响。它们分别需要用到引导滤波器和双边滤波器。本节将用这两种滤波器进行仿真,通过图表分析滤波器对图像压缩的影响。测试图像如图5-1所示,其大小为 $528 \times 704$ 。压缩使用的亮度量化系数与色度量化系数均为1。

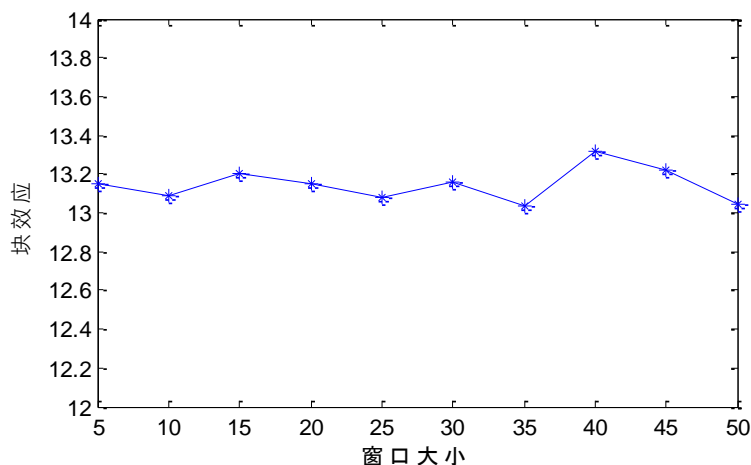


图 5-1 滤波器对图像压缩影响之测试图像

首先来看引导滤波器。图 5-2 展示了引导滤波器在不同窗口大小时(调整系数设为 25)，对去雾解压重构图像的影响。可以看出当窗口大小增大时，重构图像的峰值信噪比降低，重构图像的块效应基本不变，即图像能量损耗增大。



(a) 峰值信噪比和窗口大小的关系

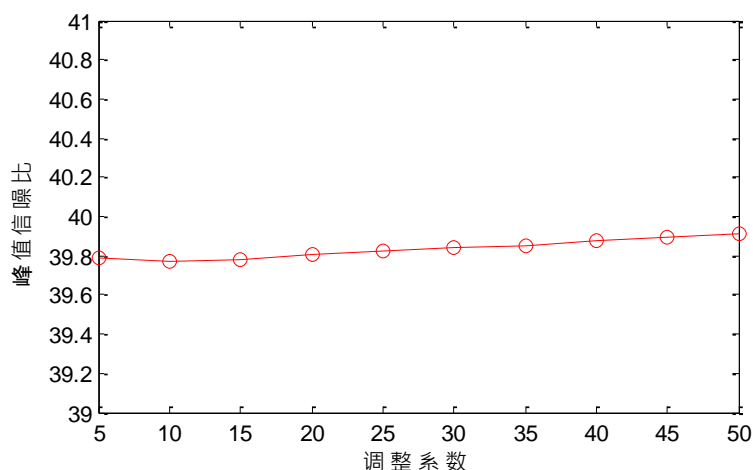


(b) 块效应和窗口大小的关系

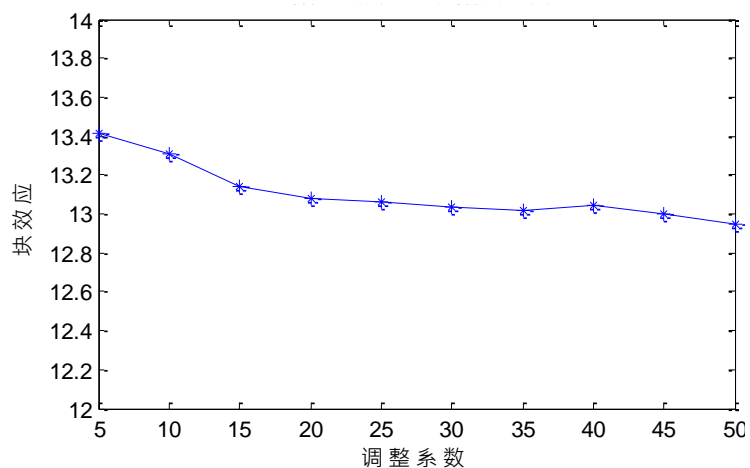
图 5-2 不同窗口大小的引导滤波器对图像压缩的影响

图 5-3 展示了引导滤波器在不同调整系数时(窗口大小设为 30)，对去雾解压重构图像的影响。可以看出调整系数增大时，重构图像的峰值信噪比和块效应有

轻微的增长与减小，对图像质量影响不大。



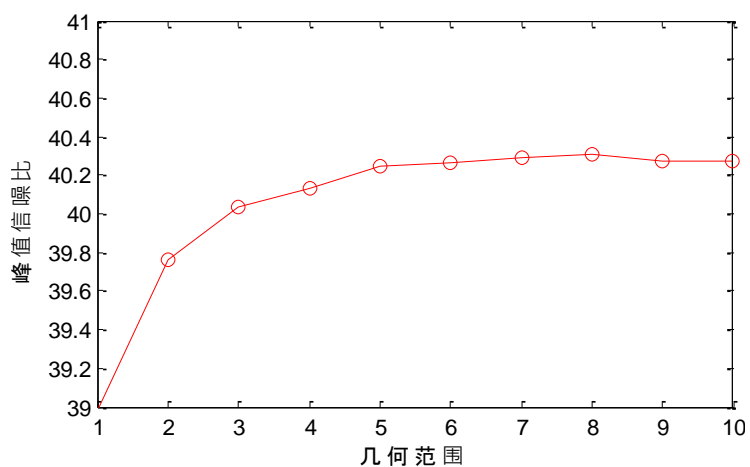
(a) 峰值信噪比和调整系数的关系



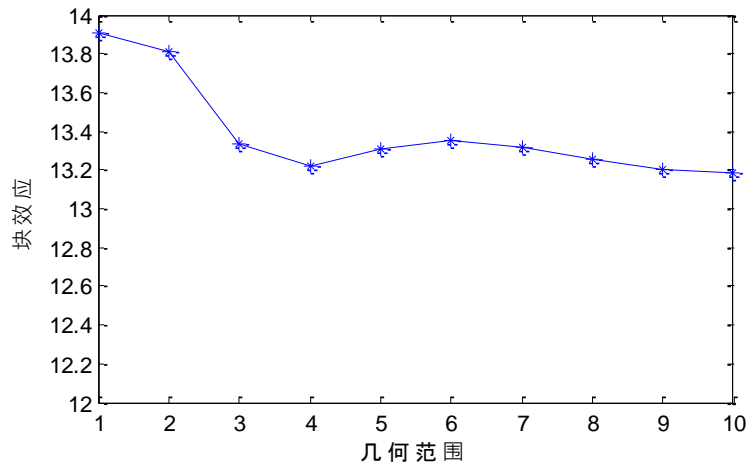
(b) 块效应和调整系数的关系

图 5-3 不同调整系数的引导滤波器对图像压缩的影响

再看双边滤波器。图 5-4 展示了双边滤波器在不同几何范围时(强度范围设为 0.1)，对去雾解压重构图像的影响。可以看出几何范围增大时，不仅峰值信噪比变大，重构图像的块效应也逐渐降低，即图像能量损耗减少。



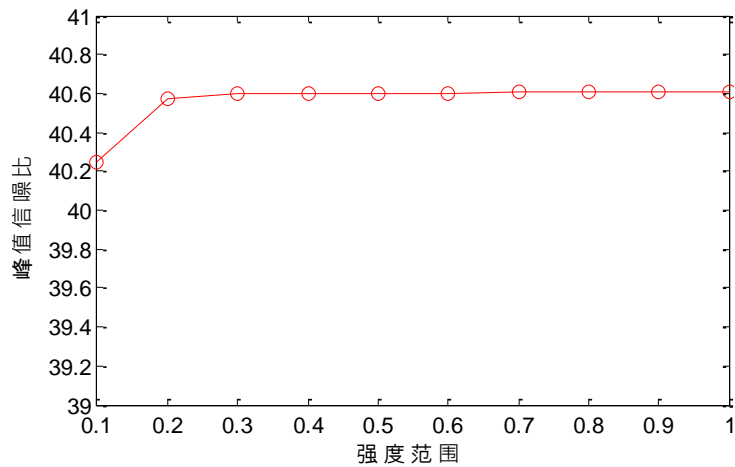
(a) 峰值信噪比和几何范围的关系



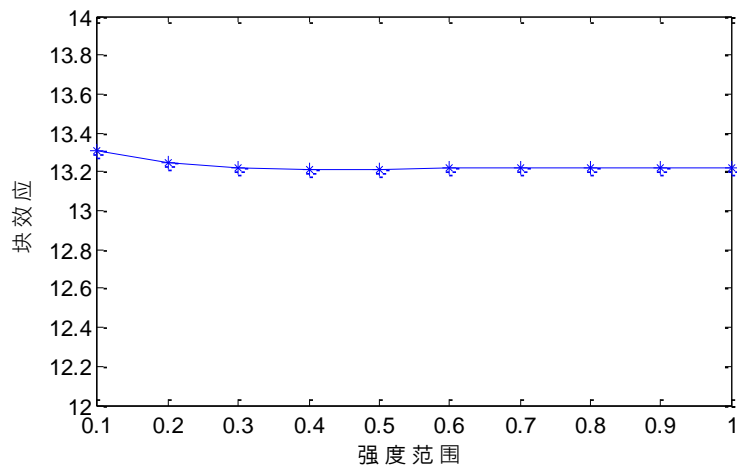
(b) 块效应和几何范围的关系

图 5-4 不同几何范围的双边滤波器对图像压缩的影响

图 5-5 展示了双边滤波器的强度范围变化(几何范围设为 5)对去雾解压重构图像的影响。可以看出其对重构图像的峰值信噪比与块效应基本没有影响。



(a) 峰值信噪比与强度范围的关系



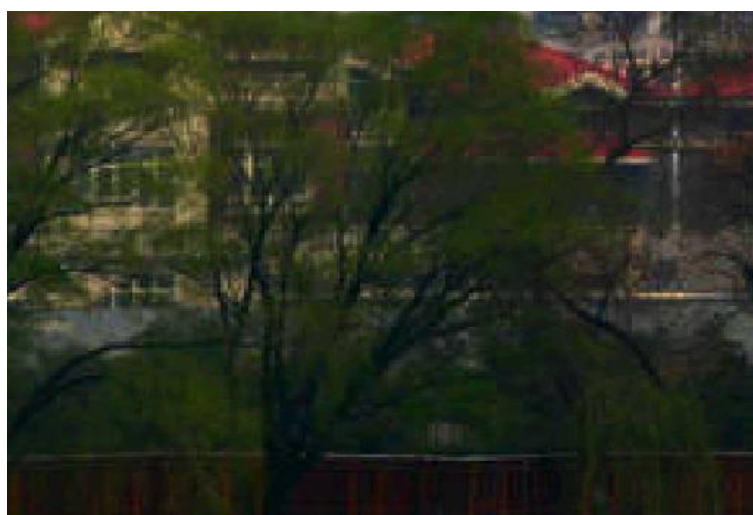
(b) 块效应与强度范围的关系

图 5-5 不同强度范围的双边滤波器对图像压缩的影响

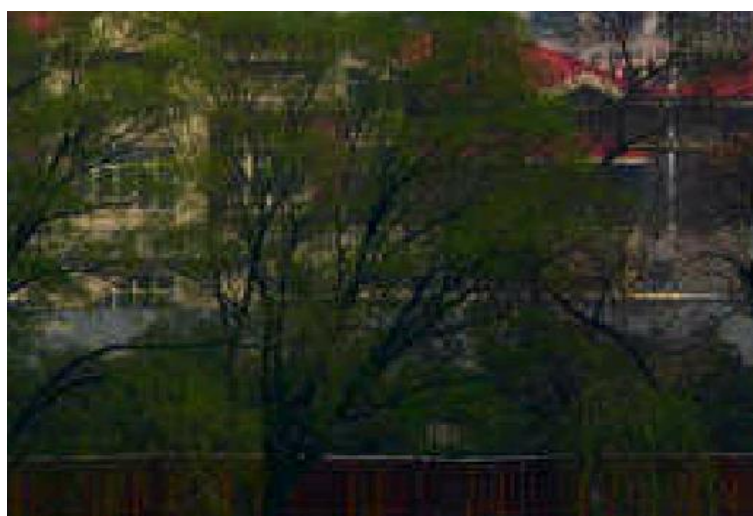


用双边滤波器去雾的图像，随着几何相似度的提高，能在解压重构之后，保持较高的峰值信噪比，即图像信息丢失的少，同时图像的块效应也有轻微减少。而使用引导滤波器去雾后的图像，随着窗口尺度的增大，在解压重构之后，峰值信噪比呈现下降趋势，即图像信息丢失的越来越多。下面将通过去雾解压重构图像来验证此特点。

附录中的附图 2 展示了使用引导滤波器进行去雾后压缩前后的图像，而附图 3 则展示了用双边滤波器进行去雾后的压缩前后图像。这里，测试图像依然为图 5-1，引导滤波器的窗口大小与调整系数分别为 30 和 25，双边滤波器的几何范围与强度范围分别为 5 和 0.1。为了更加清晰地展现出图像在压缩过程因量化造成的频率损失，本文对附图 2 与附图 3 中红框内的图像进行截取，截取部分的放大图像分别如图 5-6 和图 5-7 所示。



(a) 压缩前



(b) 压缩后

图 5-6 使用引导滤波器进行去雾后的图像压缩前后对比(截取部分)



(a) 压缩前



(b) 压缩后

图 5-7 使用双边滤波器进行去雾后的图像压缩前后对比(截取部分)

通过观察，可知图 5-6(b)压缩后的解压重构图像与图 5-6(a)压缩前的图像相比，加入了严重的噪声，而图 5-7(b)压缩后的解压重构图像与图 5-7(a)压缩前的图像相比，基本没有差别。这和前面的结论，即用双边滤波器进行图像去雾再压缩，比用引导滤波器进行图像去雾再压缩能保持更高的峰值信噪比相一致。

## 六、总结与展望

室外监控系统的图像传输在日常生活中占有举足轻重的作用。随着雾霾天气越来越频繁的发生，如何在这种恶劣的天气条件中让传输终端获得清晰的图像，是迫切需要解决的问题。本文详细分析了基于暗通道的去雾方法对图像压缩的影响，并以双边滤波器和引导滤波器为例进行了仿真。

本文的分析是以单幅图像为主的，但实际上除了图像，室外监控系统还需传输视频。传输视频前也需进行去雾和压缩，因此探讨基于暗通道的去雾方法对视频压缩的影响也是非常有必要的。由于时间与水平有限，本文只分析了去雾对 JPEG 压缩图像的影响，将来可着重研究去雾对 MPEG/H.264 压缩视频的影响，探讨何种滤波器更适合用于视频去雾和传输。

## 参考文献

- [1]郭璠, 蔡自兴, 谢斌, 等. 图像去雾技术研究综述与展望[J]. 计算机应用, 2010.09, 15(1): 2417-2421.
- [2]芮义斌, 李鹏, 孙锦涛. 一种图像去薄雾方法[J]. 计算机应用, 2006.08, 26(1): 154-156.
- [3]A. gaian, M. Roopaei. New haze removal scheme and novel measure of enhancement [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Cybernetics [C], Lausanne, Switzerland, Jun. 13-15, 2013, pp. 219-224.
- [4]周树道, 王敏, 黄峰, 等. 基于亮度小波变换和颜色改散的彩色图像去雾研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2011.08, 16(4): 59-62.
- [5]W. Z. He, Y. F. Ma. Clarity algorithm of image in the fog and application [A]. In: Proceedings of the International Conference on Computation Intelligence and Security [C], Beijing, China, Dec. 11-14, 2009, pp. 583-586.
- [6]N. Desai, A. C. Jeey, S. Mishara, et al. A fuzzy logic based approach to de-weather fog-degraded images [A]. In: Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization [C], Tianjin, China, Aug. 11-14, 2009, pp. 383-387.
- [7]S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Vision and the atmosphere [J]. Computer Vision, Sep. 2002, vol. 48, no. 7, pp. 233-254.
- [8]S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Chromatic framework for vision in bad weather [A]. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Hilton Head Island, USA, Jun. 13-15, 2000, pp. 598-605.
- [9]S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Vision in bad weather [A]. In: Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision [C], Kerkyra, Greece, Sep. 20-27, 1999, pp. 820-827.
- [10]Y. Y. Schechner, S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Instant dehazing of images using polarization [A]. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Kauai, USA, Dec. 8-14, 2001, pp. 325-332.
- [11]S. Shwartz, E. Namer, Y. Y. Schechner. Blind haze separation [A]. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], New York, USA, Jun. 17-22, 2006, pp. 1984-1991.
- [12]D. Miyazaki, M. Baba, R. Furukawa, et al. Polarization-based dehazing using two reference objects [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops [C], Sydney, Australia, Dec. 1-8, 2013, pp. 852-859.
- [13]S. G. Narasimhan, S. K. Nayar. Interactive deweathering of an image using physical models [A]. In: Proceedings of the IEEE Workshop on Color and Photometric Method in Computer Vision [C], 2003.

- [14]R. Tan. Visibility in bad weather from a single image [A]. In: Proceedings of the 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Anchorage, USA, Jun. 23-28, 2008, Article number: 4587643, 8 pages.
- [15]R. Fattal. Single image dehazing [A]. In: Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques [C], Los Angeles, USA, Aug. 11-15, 2008, Article number: 72, 10 pages.
- [16]K. M. He, J. Sun, X. O. Tang. Single image haze removal using dark channel prior [J]. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, Mar. 2011, vol. 33, no. 12, pp. 2341-2353.
- [17]K. B. Gibson, D. T. Võ, T. Q. Nguyen. An investigation of dehazing effects on image and video coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, Feb. 2012, vol. 21, no. 2, pp. 662-673.
- [18]E. J. McCartney. Optics of the Atmosphere: Scattering by Molecules and Particles [M]. New York, USA: John Wiley and Sons, Aug. 1976, 23-32.
- [19]H. Koschmieder. Theorie der horizontalen sichtweite [J]. Beitrge zur Physik der Freien Atmosphre, 1924, vol. 12, pp. 33-53.
- [20]K. M. He, J. Sun, X. O. Tang. Guided image filtering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Jun. 2013, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409.
- [21]A. Papoulis. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes [M]. New York, USA: McGraw-Hill College, Feb. 1991, 35-42.
- [22]C. Tomasi, R. Manduchi. Bilateral filtering for gray and color images [A]. In: Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Computer Vision [C], Bombay, India, Jan. 4-7, 1998, pp. 839-846.
- [23]甘佳佳, 肖春霞. 结合精确大气散射图计算的图像快速算法[J]. 中国图象图形学报, 2013.05, 18(5): 583-590.
- [24]ISO/IEC 10918-1. Information Technology--Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images-Requirements and Guidelines [S]. International Telecommunication Union, CCITT, Sep. 1992.
- [25]S. Liu, A. Bovik. Efficient DCT-domain blind measurement and reduction of blocking artifacts [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Dec. 2002, vol. 12, no. 12, pp. 1139-1149.

## 附 录

附录 1: 测试滤波器对图像压缩影响的 MATLAB 代码

```
close all; clear all; clc;
I = imread('fog1.jpg');
I = extend(I, 1);
for i = 1 : 1 : 10
    W_X_axis(i) = i * 5;
    G_X_axis(i) = i;
    % 图像去雾
    guideDehazedI = hazeremoval(I, 2, W_X_axis(i), 25);
    bilateralDehazedI = hazeremoval(I, 1, G_X_axis(i), 0.1);
    % 图像传输
    [guideTransDehazedI, PSNR_guide(i)] = transmission(guideDehazedI, 2, 1, 1);
    [bilateralTransDehazedI, PSNR_bilateral(i)] = transmission(bilateralDehazedI, 2,
    1, 1);
    guide_J = RGBtoYUV(guideTransDehazedI);
    bilateral_J = RGBtoYUV(bilateralTransDehazedI);
    % 测量块效应
    [guide_artifactMap, guide_allartifact(i)] = Allblockartifact(guide_J(:, :, 1), 8,
    0.02);
    [bilateral_artifactMap, bilateral_allartifact(i)] = Allblockartifact(bilateral_J(:, :,
    1), 8, 0.02);
end
% 画图
figure, plot(W_X_axis, PSNR_guide, 'r-o');
set(gca, 'xtick', [5 : 5 : 50], 'ytick', [38 : 0.5 : 42]);
title('峰值信噪比和窗口大小的关系'); xlabel('窗口大小'); ylabel('峰值信噪比
');
figure, plot(W_X_axis, guide_allartifact, 'b-*');
set(gca, 'xtick', [5 : 5 : 50], 'ytick', [10 : 1 : 16]);
title('块效应和窗口大小的关系'); xlabel('窗口大小'); ylabel('块效应');
figure, plot(G_X_axis, PSNR_bilateral, 'r-o');
set(gca, 'xtick', [0.1 : 0.1 : 1], 'ytick', [38 : 0.5 : 42]);
title('峰值信噪比与几何范围的关系'); xlabel('几何范围'); ylabel('峰值信噪比
');
figure, plot(G_X_axis, bilateral_allartifact, 'b-*');
set(gca, 'xtick', [0.1 : 0.1 : 1], 'ytick', [10 : 1 : 16]);
title('块效应和几何范围的关系'); xlabel('几何范围'); ylabel('块效应');
```



(a) 压缩前



(b) 压缩后

附图 2 使用引导滤波器进行去雾后的压缩前后图像



(a) 压缩前



(b) 压缩后

附图 3 使用双边滤波器进行去雾后的压缩前后图像



## 谢 辞

本论文的研究工作是在我的指导老师王成优老师的悉心指导和严格要求下完成的，王成优老师认真指导我完成了论文选题、查阅文献、课题进展以及整个论文的撰写工作。王成优老师认真严谨的治学态度、实事求是的工作作风和良好科学的工作方法对我产生了极大的影响，这些也都是我今后工作和学习的榜样。

在课题进展、论文撰写以及多次修改定稿过程中，王成优老师给我提出了许多宝贵建议和意见，使我的论文写作更加规范，文字更加通顺，整个过程使我受益匪浅，在此，向王成优老师表示诚挚的谢意。

通过完成此论文，使我掌握了理工科课题的一般研究方法、科技论文的一般写法以及查阅文献资料的方法，巩固了所学的基础理论和专业知识，使我对图像处理领域有了更新更深的理解，提高了分析问题和解决问题的能力。衷心感谢山东大学(威海)和机电与信息工程学院老师们四年来对我的教育和培养。

在查阅文献、课题进展以及撰写论文期间，张志康、孙双亮和李则阳等同学对我论文的研究工作给予了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情；同时，也一并感谢所有关心、帮助过我的同学和朋友们。

最后，将特别的感谢送给我的父母和家人，感谢他们多年来对我的鼓励、关心和厚爱，是他们在物质上、生活上和精神上给予我莫大的帮助，他们的理解和支持使我能够在学校专心完成学业。