

# 第十一届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: service@tzmcm.cn

---

## 第十一届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛 承 诺 书

我们仔细阅读了第十届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们接受相应处理结果。

我们允许数学中国网站([www.madio.net](http://www.madio.net))公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

**我们的参赛队号为：2768**

**参赛队员：**

队员 1：李青

队员 2：陈开松

队员 3：马梓真

**参赛队伍组别：本科组**

# 第十一届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: service@tzmcm.cn

---

## 第十一届“认证杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

#### 编号专用页

参赛队伍的参赛队号：2768

竞赛统一编号：

---

竞赛评阅编号：

# 第十一届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: service@tzmcm.cn

## 2017 年第十一届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第一阶段论文

题 目 动态模糊图像的复原

关 键 词 运动模糊图像 图像复原 退化模型 点扩展函数 PSF 维纳滤波

### 摘 要：

日常生活中，当路边的摄像机在拍摄超速车辆时，所得的图像往往看不清车牌号。用相机和手机拍照运动物体时，常常会得到运动模糊照片。这通常是人们希望避免出现的，所以，研究避免运动造成模糊图像的方法对于我们的日常生活具有重大意义。

本题需要解决的问题是将运动模糊图像尽量进行复原，使图像清晰，但是，一张运动模糊图像经过处理后的图像我们不能以自我主观意识来评判其处理效果，所以我们三个指标(PSNR,  $K_w$ , Q) 来客观的判断处理后的图像是否比原来的模糊图像更清晰。因此，我们将一个清晰的图像  $g(x, y)$  经过加噪处理后带入建立的运动退化模型将其模糊，模糊的图像  $f(x, y)$  即可看做摄像机或手机拍照时造成的运动模糊，确定参数模糊尺度  $L$  和运动角度  $\theta$  以便代入退化模型得到点扩展函数，然后通过维纳滤波模型将退化的图像进行还原，最后将实际模糊图像与还原出来的图像作比较，得出图像的恢复效果。

我们应该知道，在研究对运动模糊图像的复原之前，我们应该了解物体是怎么运动的，一张彩色的照片通常认为是由一个三维的图形构造而成，但因为彩色图片处理需要考虑极多因素，所以我们先把彩色图像用二值法进行灰度处理变成一个二维图像，以便简单处理参数并且结合图像运动函数解决对运动模糊图像的复原。

为了解决问题，本文研究的是摄像机相对于物体做匀速运动的过程，我们认为很多个像素坐标  $(x, y)$  构成一个图像，因为在实际操作中，我们无法精确估计运动物体的速度  $v$  以及摄像机的曝光时间  $T$ ，所以我们直接将运动模糊图像进行 Hough 变换和 Sobel 边缘检测计算出运动模糊图像的模糊角度，用微分自相关的方法来估计运动模糊长度。这样就可确定出模糊图像在  $x, y$  的偏移量  $x_0(t)$ ,  $y_0(t)$ ，然后就可以带入到公式：

$$H(u, v) = \int_0^T \exp[-j2\pi(ux_0(t) + vy_0(t))]dt$$

进而求出模糊图像的点扩展函数  $H(u, v)$ 。

在拍照时噪声的存在会影响图像的复原结果，所以在对原图像退化时需要加入一个加性噪声  $n(x, y)$ ，在退化图像复原时也要进行去噪处理。在求到点扩展函数  $H(u, v)$  之后，就可以利用维纳滤波模型对退化图像进行复原。因为要验证模型的有效性，就需要对退化的图像进行复原，本文主要运用了复原的方法是经典的维纳滤波法，通过实际实验，客观标准分析以及与实际模糊图像的对比，得出我们的维纳滤波模型有效可行。

参赛队号： 2768

所选题目： B 题

参赛密码

(由组委会填写)

# 第十一届中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会  
电话：0471-4969085

邮编：010021

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
Email: service@tzmcm.cn

## 英文摘要

In daily life, when a roadside camera is shooting a speeding vehicle, the image is often blurred by the license plate number. When you take pictures with your camera and mobile phone, you often get blurred pictures of motion. This is usually what people want to avoid, so it is important for our daily life to study ways to avoid motion blur.

Need to bear on the problem is the motion blurred image restoration as far as possible, make the image more clear, however, an image of motion blurred image after processing we can't judge the subjective consciousness treatment effect, so we three indicators (PSNR,  $K_w$ ,  $Q$ ) to objectively determine whether processed image blurred image is more clear than it was before. As a result, we will have a clear image of  $g(x, y)$  after dealing with the add noise to the movement of the degradation model is set up its fuzzy, fuzzy image  $f(x, y)$  can be seen as motion blur caused by camera or cell phone photo shoots,  $L$  and determine the parameters of fuzzy scale movement Angle  $\theta$  to get the point spread function in regression models, and then through wiener filtering model restore the degraded image, finally to actual blurred image and the reduction of image comparison, it is concluded that the recovery effect of image

We should know that in the study of motion blurred image restoration, we should get to know how an object in motion, a picture of color is usually considered by a 3 d graphics constructed, but because of the color image processing factors need to consider a lot, so we'll use binary method for color image gray processing into a two-dimensional image, so that the simple processing parameters and the movement function of the combination of the restoration of motion blurred image.

In order to solve the problem, this paper studies the process of camera to do uniform motion relative to the object, we can think of a number of pixel coordinates  $(x, y)$  constitute an image, because in actual operations, we won't be able to accurately estimate the speed of moving object  $v$  and the camera exposure time  $T$ , so we will direct motion blur image Hough transform and Sobel edge detection to calculate fuzzy Angle motion blurred image, using differential autocorrelation method to estimate the motion blur length. In this way, we can determine the offset of the fuzzy image in  $x, y, x_0(t), y_0(t)$ , and then we can bring it to the formula:

$$H(u, v) = \int_0^T \exp[-j2\pi(ux_0(t) + vy_0(t))] dt$$

Then, the point extension function  $H(u, v)$  of the fuzzy image is obtained.

While taking photographs will be the presence of noise, this affects the image restoration results, so in the degradation of the original image needs to add an additive noise  $n(x, y)$ , the degradation of image restoration is to deal with the noise. After the expansion function  $H(u, v)$  is obtained, the degradation image can be reconstructed using the wiener filtering recovery model. Because to validate the feasibility and effectiveness of the model, it need to restoring the degraded image, this paper applies the method of the recovery is the classic wiener filtering method, through the actual experiment, objective standard analysis and the comparison with actual blurred image, draw our wiener filtering model is effective and feasible.

## 一、问题的提出与重述

用相机或者手机拍摄运动物体时，经常会出现拍出来的图片模糊不清的现象，这主要是像移量的而导致的。虽然有时这是摄影师希望得到的结果，但人们普遍希望能避免这样的现象出现。

假设拍摄时镜头已经准确的对焦，但是因为快门速度与物体运动速度的不匹配导致拍出来的数字或者图像模糊，请解决以下三个问题：

- 1、建立合适的算法和模型，对得到的模糊的数字图像进行复原处理。（可以合理的进行假设）
- 2、说明算法和模型的优缺点，并为算法和模型提出改进方法。
- 3、通过处理一个或者多个模糊图片的例子，说明算法的有效性和可行性。

## 二、基本假设

- 1、假设运动数字图像  $g(x, y)$  是一个一维平面的匀速直线运动，无任何方向的加速度
- 2、假设镜头已经准确的对焦
- 3、假设所有的噪声因素都不是有声噪音而是白噪音
- 4、假设摄像机的像素相对来说不太低，拍出来的图片至少应该有一个具体的轮廓
- 5、假设其它非自然因素对图片造成的模糊不考虑
- 6、假设拍照是一个瞬间动作

## 三、主要变量符号说明

符号	意义
$M$	运动图像的长度
$N$	运动图像的宽度
$v$	运动物体相对于摄像机的水平运动速度
$L$	运动模糊图像的模糊尺度
$\theta$	运动模糊图像的模糊角度
$\varepsilon^2$	未降质图像的能量
$T$	摄像机的曝光时间
$(x, y)$	像素坐标
$g(x, y)$	聚集在图像上的点而构成的原始图像
$f(x, y)$	聚集在图像上的点而构成的还原图像
$n(x, y)$	加在图像上的加信噪音
$h(x, y)$	未傅里叶变换的点扩展函数
$H(x, y)$	点扩展函数
$G(x, y)$	退化图像的傅里叶变换

## 四、问题分析

本题要求我们建立运动模糊数学模型把由运动造成模糊的图像尽量还原成清晰的图像，然后通过具体的实例来验证模型的有效性和可行性。实际生活中造成图像模糊的原因很多，根据题目中所给的信息，是要求我们对因运动而造成运动模糊图像进行恢复处理，所以我们首先寻找物体运动中的参数（比如速度  $v$ ，运动角度  $\theta$  以及运动位移  $x$  等），然后再结合退化模型建立综合的运动模糊退化模型，接着就可以求出它的点扩展函数。拥有了运动模糊图像的点扩展函数就可以用维纳滤波还原图像，最后与实际模型最初比较，得出图像的具体恢复效果。

具体流程图如 4-1 所示：

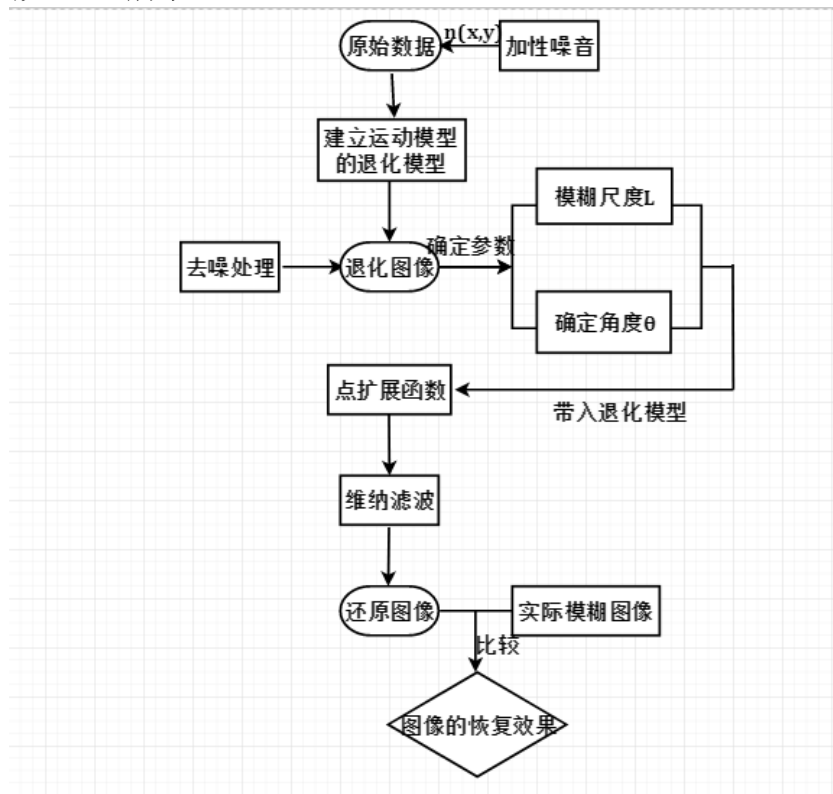


图 4-1 运动模糊图像复原的具体流程图

## 五、运动模糊图像恢复模型建立与求解

### 5.1 模型的准备

#### 5.1.1 对运动物体拍照造成模糊的分析

1. 模糊归类用摄像机获取景物图像时，如果相机在曝光期间景物和摄像机之间存在相对运动，例如用照相机拍摄快速运动的物体，或者在行驶的汽车上拍摄外面静止不动的景物时，拍得的照片都可能存在模糊的现象，我们把它归类于由于相对运动造成的运

动模糊。

## 2.解决方法

(1) 减少曝光时间，但由于相机的曝光时间不可能无限制地减少，随着曝光时间减小，图像信噪比减少，图像信噪比减小，图像质量也较低，所以这种方法的用途及其有限，一般不采用这种方法。

(2) 建立运动图像的复原模型，通过数学模型来解决图像的复原问题。这种方法具有普遍性，因而也是研究解决运动模糊的主要手段，本文就是采用这种方法。

## 3.运动模糊的原理分析<sup>[1]</sup>

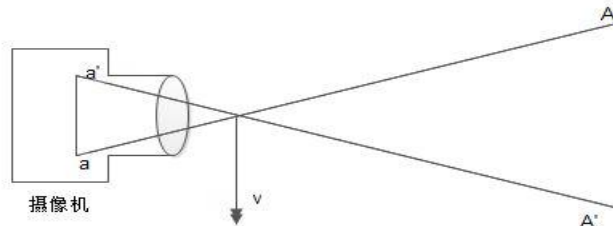


图 5-1 运动模糊原理图<sup>[5]</sup>

如图 5-1 所示，当运动物体以速度  $v$  相对于摄像机一段距离  $D$  在平面上运动时，周围的景物  $A$  点相对于运动物体后移到  $A'$ 。通过光学系统成像于  $a'$  点，在摄像机靶面上像移动速度为：

$$V' = \frac{v}{D} f_{max} \quad (5-1-1)$$

其中  $D \rightarrow$  摄像机离运动物体的距离， $V \rightarrow$  运动物体的速度  $f_{max} \rightarrow$  光学系最大焦距

在摄像机每场积分时间内像移量为：

$$L = V' t \text{ (mm)} \quad (5-1-2)$$

其中  $t \rightarrow$  摄像机的积分时间

像移量的存在导致图像模糊，为得到清晰图像必须对像移量进行控制。然而在实际工程中，摄像机的积分时间不能无限制的缩小，而且高帧频的摄影机很贵，积分时间缩小后，为了保证图像的质量，必须加大地面的照度，这就限制了摄像机的工作条件，在许多情况下是不能接受的。

目前解决运动模糊的主要手段是通过了解图像的退化过程，建立运动图像的复原模型，通过数学模型来解决图像的复原问题。现在常用的模糊图像复原方法有很多种，包括逆滤波、维纳滤波、盲解卷积算法、Lucy-Richardson 算法等，这篇论文中我们采用的是用维纳滤波算法来建立运动模糊图像的复原模型。

## 5.2 模型的建立

### 5.2.1.通过建立数学模型确定退化模型的点扩展函数

由于影响模糊图像的原因众多，而且性质不同。所以他们所对应的退化模型也不同。针对本题而言，解决的问题是建立一个因为物体运动而造成模糊的退化模型<sup>[2]</sup>。

### 1. 原图像的加噪处理

灰度图像可以表示成为二维亮度分布  $g(x, y)$ ，其中  $(x, y)$  为像素坐标，对应的函数值  $g(x, y)$  为像素灰度值，噪声则可看作对像素灰度值的干扰，常用函数  $n(x, y)$  表示，被噪声干扰后的图像由  $f(x, y)$  表示。

噪声期望（均值）：

$$E = \{n(x, y)\}$$

噪声方差：

$$E\{(n(x, y) - E\{n(x, y)\})^2\}$$

噪声功率：

$$E\{n^2(x, y)\}$$

### 2. 运动物体的退化模型

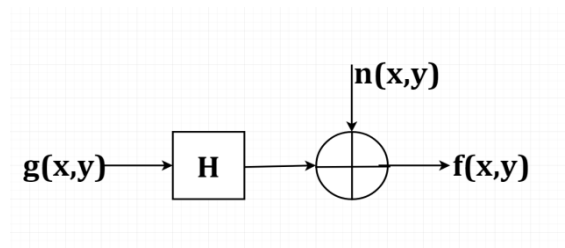


图 5-2-1 图像的降质过程模型

图中的  $f(x, y)$ ,  $g(x, y)$ ,  $h(x, y)$  分别表示观察到的模糊图像、原始图像和退化系统的 PSF， $n(x, y)$  为加性噪声。假设退化系统为线性空间不变系统，则进一步用公式表明该退化过程为：

$$f(x, y) = g(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \quad (5-2-1)$$

式中：“\*”表示卷积； $h(x, y)$  表示窗函数。

在图像恢复技术中，点扩展函数（PSF）是影响图像恢复结果的关键因素，所以常常利用先验知识和后判断方法估计 PSF 函数来恢复图像。从傅立叶变换的角度对匀速直线运动模糊图像的点扩散函数在频域。

### 3. 运动模糊图像的数学模型

在所有运动模糊中，由匀速直线运动造成图像模糊的复原问题更具有普遍性和普遍意义。因为变速、非直线运动在某些条件下可以被分解为分段匀速直线运动<sup>[3]</sup>。首先先讨论只是由匀速直线运动产生的模糊问题。在曝光量适当和焦距正确的情况下，假设拍照瞬时完成，则  $w(x, t)$  可以表达为对实际景物图像  $f(x, t)$  的一个积分：



$$f(x, t) = \int w(x, t) dt \quad (5-2-2)$$

如果景物是静止的，即  $w(x, t) = f(x)$ ，那么上述积分只是  $f(x)$  与时间的乘积，曝光时间的变化只影响成像的反差。但如果景物是运动的，那么曝光的叠置成像  $f(x, t)$  作为运动中  $w(x, t)$  的积分就必定会随着  $t$  的增大而模糊起来。实际上只要把  $w(x, t) = f(x - vt)$  带入上式，即可得到上述匀速直线运动模糊图像的形成过程的表达式：

$$w(x, t) = \int_0^t f(x - vt) dt \quad (5-2-3)$$

这就是匀速直线运动模糊的成像表达式<sup>[4]</sup>。

由上述公式表明，运动模糊图像是由景物在不同时刻的无限多个影像叠加而成的。景物和摄像机之间的相对运动有其不同的方向和速率。因此无论使用什么样的方法恢复运动模糊图像，都需要先确定景物与摄像机相对运动的方向和速率这两个基本的要素，然后才能确定此幅图像的恢复模型。因此，下面进行对运动物体的参数确定。

在曝光过程中，相机与被摄物体之间的相对运动导致所拍摄的照片发生的运动模糊往往与物体运动的速度、大小以及角度有关，我们可以假设摄像机不动，拍摄物体运动，其运动分量  $x, y$  分别为  $x_0(t)$ ， $y_0(t)$  摄像机快门速度是理想的，快门开启时间（曝光） $T$ 。

记录介质的总曝光量在快门打开后到关闭这段时间的积分，则模糊后的图像为：

$$g(x, y) = \int_0^T f[x - x_0(t), y - y_0(t)] dt \quad (5-2-4)$$

经过傅里叶变化得到：

$$\begin{aligned} G(u, v) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int \int_0^T f[x - x_0(t), y - y_0(t)] dt \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \\ &= \int_0^T \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \int [x - x_0(t), y - y_0(t)] dt \exp[-j2\pi(u(x - x_0(t)) + v(y - y_0(t)))] dx dy \right\} dt \\ &= \int_0^T F(u, v) \exp[-j2\pi(u(x_0(t)) + v(y_0(t)))] dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{F}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \int_0^T \exp[-j2\pi(\mathbf{u}(x_0(t)) + \mathbf{v}(y_0(t)))] dt \\ &= \mathbf{F}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \mathbf{H}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \end{aligned} \quad (5-2-5)$$

得到模糊算子或称点扩展函数：

$$\mathbf{H}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \int_0^T \exp[-j2\pi(\mathbf{u}(x_0(t)) + \mathbf{v}(y_0(t)))] dt \quad (5-2-6)$$

由上式可知：只要知道运动物体在水平方向  $x$  和垂直方向  $y$  的运动分量  $x_0(t), y_0(t)$  即可确定运动模糊图像的点扩展函数。这里我们引入两个模糊运动的两个重要参数：模糊尺度  $L$  和运动模糊角度  $\theta$

$$\tan\theta = \frac{x}{y} = \frac{x_0(t)}{y_0(t)} \quad \theta = \arctan \frac{x_0(t)}{y_0(t)} \quad (5-2-7)$$

由于：

$$L = \sqrt{x_0(t)^2 + y_0(t)^2} \quad (5-2-8)$$

因此，只要知道模糊运动的参数  $L$  和  $\theta$  即可通过公式(5-2-6) 还原图像。

### 5.2.2. 点扩散函数（PSF）参数鉴别

运动模糊图像复原中，点扩展函数的参数主要包括：模糊角度  $\theta$  和模糊长度  $L$ ，模糊角度  $\theta$  指的是图像进行模糊运动的方向，模糊长度  $L$  表示像素点在模糊运动中移动的相对长度。由于这两个参数都是未知的，因此我们必须通过对模糊图像的处理来推断出它们值的大小。

求解出模糊角度  $\theta$  和模糊长度  $L$  是进行运动模糊图像复原的基本前提，有了这两项数据就可以调用很多复原模型进行对图像的复原。

#### 1. 运动模糊角度 $\theta$ 的确定

运动模糊角度  $\theta$  的确定对于整个点扩散函数的确定是十分重要的，确定了模糊角度  $\theta$  之后就能够将非水平方向的模糊运动转化为水平方向的匀速直线运动，这样就降低了运动模糊长度和图像复原的难度。

对于匀速直线运动模糊而言，其点扩散函数具有零点，这就导致模糊图像的频谱也具有零点，在相应的频率处，频谱上会出现一系列平行的暗纹。若运动模糊角度为  $\theta$ ，则模糊图像频谱图上  $\theta+90^\circ$  方向会出现平行暗纹。因此，我们只需要鉴别出频谱图上暗纹的方向，即可得到模糊运动角度值<sup>[5]</sup>。

在确定运动模糊角度的过程中，本题用到了 Sobel 边缘检测算子和 Hough 变换进行直线提取。

### Hough 变换:

Hough 变换提取直线是将直线上的点坐标变换到过点的直线系数域,利用共线和直线相交的关系,将提取直线的问题转化为计数,且这种算法最大的优点是受图像中直线的间断与噪声影响较小。

设平面上有直线:

$$y = u \times x + v \quad (5-2-9)$$

直线斜率为  $u$ ,截距为  $v$ , 对于每一条直线都有且只有唯一的数组  $(u, v)$  与之对应,而每一个数组  $(u, v)$  也有唯一的直线  $y = u \times x + v$  与之对应, Hough 变换的原理正是基于这种  $Oxy$  平面上的直线与  $Oxy$  平面上的点一一对应的关系,同理,  $Oxy$  平面上的每一条直线与  $Oxy$  平面上的点也是一一对应的。

因此,对于  $Oxy$  平面上待检测的直线  $y = u \times x + v$ , 由于该直线上的每一个点都对应着  $Ouv$  平面上的一条直线,所有的这些直线必会相交于点  $(u, v)$ , 只需要检测出这个相交点就能够获得关于待测直线的相关信息。

由于  $Oxy$  平面上存在着垂直于  $x$  轴的直线,这样的直线斜率为无穷大,无法用  $y = u \times x + v$  的方式表示,因此常用直线的法线式表示:

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (5-2-10)$$

式中,  $\rho$  为原点到直线的垂直距离,  $\theta$  为  $x$  轴与直线法线的夹角,  $Oxy$  平面中一条直线对应于  $O\theta\rho$  平面中一点,  $Oxy$  平面中一点对应  $O\theta\rho$  平面中的一条曲线,则  $Oxy$  平面中一条直线上的所有点对应的  $O\theta\rho$  平面中的曲线相交于同一点,因此只需要检测到  $O\theta\rho$  平面各点信息,就可以确定  $Oxy$  平面中待测直线的位置,若对  $O\theta\rho$  平面上相交点处曲线相交次数进行统计,其统计值等于经过该点的曲线条数,也就等于  $Oxy$  平面中待测直线上像素点的个数,这样一来,每一个统计值的峰值就对应  $Oxy$  平面上的一条直线,这种检测  $Oxy$  平面上直线的方法就是 Hough 变换直线检测法。

### Sobel 边缘检测:

边缘检测是图像处理中的一个重要的应用方面,检测出边缘才能够准确的识别出目标,在图像处理问题中,边界代表一个区域与另一个区域的临界点的集合,不同区域的特征和属性不相同,边缘提取技术正是基于这种图像背景与景物在数字图像特征上的差异来进行的,这些特征主要有灰度和纹理等,边缘检测其实就是确定图像特征的像素点位置。

边缘检测算子是一种简易可行的边缘提取方法,通过考察图像中各像素点在邻域内灰度变化情况,计算其一阶或二阶方向倒数值来确定边缘点。若某像素点位于边界处,则其相邻像素的灰度值变化就较大,对这种灰度值的变化进行量化统计就能够提取出图像的边界,常用的边缘检测算子有 Robert 算子、Sobel 算子、Canny 算子等,在这里我们使用 Sobel 算子进行边缘提取。

Sobel 算子从不同的方向对图像进行边缘检测,其本身是一组方向算子的集合,它

提高了被考察像素点上下左右 6 个像素点的权重，其输出为原图像的边缘图像。该算子表达式如下：

$$f'_x(x, y) = f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - 2f(x, y-1) - f(x+1, y-1) \quad (5-2-11)$$

$$f'_y(x, y) = f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1) - f(x+1, y-1) - 2f(x+1, y) - f(x+1, y+1) \quad (5-2-12)$$

$$G[f(x, y)] = |f'_x(x, y)| + |f'_y(x, y)| \quad (5-2-13)$$

式中  $f'_x(x, y)$ 、 $f'_y(x, y)$  分别表示  $x, y$  方向的一阶导数， $G[f(x, y)]$  是 Sobel 算子的梯度值， $f(x, y)$  代表输入图像，在计算出像素点的梯度之后，若其值大于设定的阈值  $T$ ，则标记此点为边界点。

## 2. 运动模糊长度 $L$ 的确定

对于一幅运动模糊图像，其频谱图上一系列暗线的个数既是原图像模糊运动的长度，因此可以通过统计频谱图上暗条纹个数来获得模糊长度  $L$  的值。在前面已经估计出了模糊运动角度值，可以通过将图像往相反的方向旋转相同角度，将任意方向的运动模糊转化为水平方向，这样，问题就转化为模糊角度为零的运动模糊长度的确定。

对于模糊运动长度较大的情况，我们使用一种基于微分自相关的方法来估计运动模糊长度。

假设  $h(x)$  为点扩散函数，在假定曝光时间无限长的情况下，它正比于单个亮点在  $(x, x+dx)$  处停留时间  $dt$ ，实际曝光情况下的点扩散函数  $psf$  是对  $h(x)$  的截取，设点扩散函数的长度为  $d$ ，如图 5-2-2 所示：

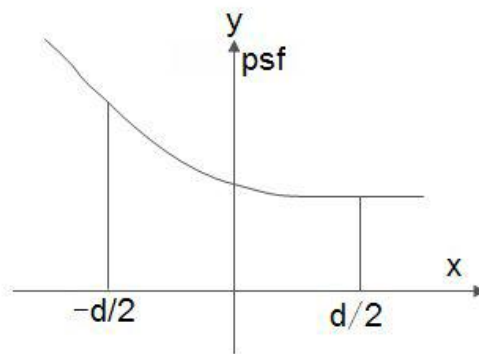


图 5-2-2 点扩散函数图

其中：

$$psf(x) = h(x) \times \text{rect}\left(\frac{x}{d}\right) \quad (5-2-14)$$

若  $f(x)$  表示原始图像， $y(x)$  表示模糊图像，则有：

$$y(x) = f(x) * \text{psf}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(a)h(x-a)\text{rect}\left(\frac{x-a}{d}\right)da \quad (5-2-15)$$

对上式进行水平方向的微分，则有：

$$\begin{aligned} y'(x) &= \frac{dy}{dx} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(a) \frac{\partial}{\partial x} \left( h(x-a) \text{rect}\left(\frac{x-a}{d}\right) \right) da \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(a) \text{rect}\left(\frac{x-a}{d}\right) \frac{\partial}{\partial x} h(x-a) da \\ &\quad + \int_{-\infty}^{\infty} f(a) \text{rect}(x-a) \frac{\partial}{\partial x} h(x-a) da \\ &= A(x) + h\left(\frac{d}{2}\right) f\left(x + \frac{d}{2}\right) - h\left(\frac{d}{2}\right) f\left(x - \frac{d}{2}\right) \quad (5-2-16) \end{aligned}$$

其中：

对微分后图像做水平方向的自相关运算，则有：

画出  $S(x)$  曲线图，求出曲线图正中间峰值左右两边第一个极小值点间水平距离，此即为模糊运动长度的二倍。

这种求模糊运动长度的方法步骤如下：

- (1) 通过以求得的运动模糊角度，将图像旋转相应角度，使任意方向的模糊运动变为水平方向的模糊运动。
- (2) 对上面的图像进行水平方向的微分，得到微分图像。
- (3) 对微分图像进行水平方向的自相关运算，得到水平自相关图像。
- (4) 将自相关图像当做矩阵处理，求其列和，得到自相关图像列和的一维数组。
- (5) 画出一维数组曲线图，观测得到曲线正中间附近左右两边第一个极小值间的水平距离。

(6) 模糊运动长度即为上面求得的距离的一半。

按照上述步骤，首先通过前面的鉴定模糊运动角度的方法得到模糊运动角度，将模糊图像向相反方向旋转相同角度，即可将问题转化为对水平方向运动模糊图像的处理。

### 5.2.3.运动模糊图像的去噪预处理

由于图像的采集、传输和输出等过程受所用的传输信道的干扰而难以排除地给图像混入干扰因素——噪声<sup>[6]</sup>，因此在处理运动模糊图像的复原问题时，噪声是难以避免的。由于图像的主要来源是图像的获取和传输的过程，而各种因素都能影响图像传感器的工作情况，如器件质量、获取环境、电磁干扰，因此在此过程中混入的噪声种类也是繁杂且难以确定的，这就增加了处理噪声的难度。

倘若我们没有经过去噪处理而直接对混有噪声的图像进行复原，效果往往会很不理想。所以，去噪处理在复原运动模糊图像过程中就显得尤为重要。一般情况下，常见的噪声主要有高斯噪声、椒盐（脉冲）噪声、均匀分布噪声、指数分布噪声、瑞利噪声等。大量的实验研究发现，由摄像机拍摄得到的图像受离散脉冲、椒盐噪声和零均值的高斯噪声的影响较为严重。

其中，椒盐噪声又称脉冲噪声，它随机改变一些像素值，在二值图像上表现为使一些像素点变白，一些像素点变黑。它是由图像传感器，传输信道，解码处理等产生的黑白相间的亮暗点噪声。椒盐噪声往往由图像切割引起，去除脉冲干扰及椒盐噪声最常用的算法是中值滤波。

高斯噪声是一种随机噪声。在任选瞬时中任取  $n$  个，其值按  $n$  个变数的高斯概率定律分布的一类噪声。其概率密度函数为：

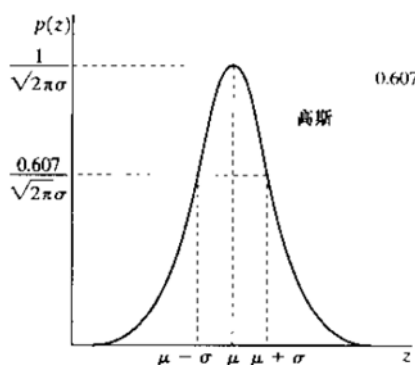


图 5-2-3 高斯函数的密度函数曲线

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[ -\frac{(z - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (5-2-17)$$

其中， $z$  表示灰度值， $\mu$  表示  $z$  的平均值或期望值， $\sigma$  表示  $z$  的标准值。

高斯函数的密度函数曲线如图 5-2-3。

由公式可见，高斯噪声的概率密度符合正态分布。相比于椒盐噪声，高斯噪声的滤

除难度较大，且一般来说，去噪效果也不是十分理想。常见的图像去噪原理有低通滤波器、维纳滤波器、中值滤波器、均值滤波器。

下面我们将以高斯噪声为例建立去噪模型。在这里选择使用邻域平均法（均值滤波器）来消除高斯噪声。

邻域平均法是用某点的邻域内各像素点灰度值的加权来代替该点的灰度值，这样做能够有效地抑制高斯噪声的影响。

邻域平均法表达式

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(x - m, y - n) \quad (5-2-18)$$

其中：S 为点 (x,y) 的一个邻域（不包括该点在内）

M 为该邻域内包含的像素的数 N

半径为 1 的邻域 M=4，可表示为：

$$S_1 = \{(x, y + 1), (x, y - 1), (x - 1, y)\} \quad (5-2-19)$$

半径为  $\sqrt{2}$  的邻域 M=8，可表示为：

$$S_{\sqrt{2}} = \left\{ \begin{array}{l} (x, y + 1), (x, y - 1), (x + 1, y), (x - 1, y) \\ (x - 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1) \end{array} \right.$$

邻域平均法用卷积形式可以表示为：

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) = \sum_{(m,n) \in S} h(m, n) f(x - m, y - n) \quad (5-2-20)$$

于是对于半径为 1 的邻域，则有：

$$h_1(x, y) = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

对于半径为  $\sqrt{2}$  的邻域，则有：

$$h_{\sqrt{2}}(x, y) = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

对于半径为 2 的邻域，则有：

$$h_2(x, y) = \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

#### 5.2.4.建立维纳滤波模型进行对退化图像的复原

建立维纳滤波模型对退化图像的复原

维纳滤波算法<sup>[7]</sup>能以较低的计算代价得到较好的复原效果,因此它仍经常被应用于复原退化图像,但它自身功率谱的低频部分以信号为主,而高频部分则主要被噪声所占据。由于逆滤波滤波器的幅值随频率的升高而升高,因此会增强高频部分的噪音。为克服以上不足,我们将应用最小均方误差的方法(维纳滤波)进行运动模糊图像的复原。

维纳滤波(wiener filtering)又称为最小均方误差滤波。它是一种基于最小均方误差准则、对平稳过程的最优估计器。这种滤波器的输出与期望输出之间的均方误差最小,因此它是一个最佳滤波系统。由于它是用系统的点扩展函数为已知前提,限制了它的应用范围。但将系统的扩散函数精确估算后,应用维纳滤波方法可以得到预期结果。

维纳滤波是建立在认为图像和噪声是随机过程的基础上,目标是寻找一个使统计误差函数:  $e^2 = E\{(f - \hat{f})\}$  最小的估计  $\hat{f}(x, y)$ 。即

$$e^2 = \min E \{ [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2 \} \quad (5-2-21)$$

其中,  $E$ 是期望值操作符,  $f$ 是未退化图像。此表达式在频域可以表示为:

$$F(u, v) = \left[ \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + S\eta(u, v)/S_f(u, v)} \right] G(u, v) \quad (5-2-22)$$

式中:  $|H(u, v)|^2 = H^*(u, v)H(u, v)$ , 其中 $H^*(u, v)$ 表示 $H(u, v)$ 的复共轭;  $G(u, v)$ 是输入图像的傅立叶变换;  $H(u, v)$ 是点扩散函数(即退化过程)的傅立叶变换。

又因为在现实生活中,  $S\eta(u, v) / S_f(u, v)$ 很难求出,所以,采用一个比值 $k$ 代替两者之比,从而得到简化的为那滤波公式:

$$F(u, v) = \left[ \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + k} \right] G(u, v) \quad (5-2-23)$$

由简化后的公式知,只需求出 $H(u, v)$ ,适当调整比值 $k$ ,再进行傅立叶逆变换,就可以得到退化后图像的复原图像<sup>[8]</sup>。

#### 5.2.5.评价运动模糊图像恢复效果指标的确定



如何评价一个图像经过图像处理算法后的质量，对于我们判断算法性能的优劣有很重要的意义。现有的评价方法一般分为主观和客观两种。

主观评价和客观评价这两种图像质量评价标准有各自的优缺点。由于人眼视觉特性的准确模型还没有完全建立起来，因此主观评价标准还只是一个定性的描述方法，不能作定量描述。因此在图像处理算法研究中（包括本文涉及的运动模糊类），很多时候需要有客观评价指标来对算法的性能进行评价。在图像复原、图像滤波算法研究中，需要采用客观评价指标来定量的来测试算法恢复出的图像相对于参考图像的好坏程度。

本文介绍三个比较好的客观评价指标<sup>[3]</sup>——峰值信噪比 PSNR、模糊系数 K、质量因素 Q。

## 1 、主观评价

主观评价通常有两种<sup>[1]</sup>：一种是作为观察者的主观评价，这是以人作为图像的观察者对图像直接用肉眼进行观察，然后分别对所观察图像的质量好坏做出主观的评价，再综合全组人的意见给出一个综合结论。它没有定量的标准，只是一种定性的方法，其评价结果受观察者的主观因素、图案类型因素和环境因素的影响较大，因此在评价结果上有一定的不确定性。另一种是随着模糊数学的发展，可以用模糊综合评判方法来尽量减少主观因素的影响，实现对图像质量近似定量的评价，而由于其定量计算公式中的参数往往要依赖专家经验确，所以它仍然没有完全消除主观不确定性的影响。

## 2 、客观评价

综观来看，评估一个复原算法的结果的方法还未找到，也因此现在的评价方法大多与人的主观判断相一致。所以，在研究复原算法时，为了通过计算机模拟来判断各种方法的优劣性，我们通常使用一些品质参数。

现有的评价技术主要分为融入人类视觉系统知识的标准基于统计和数学的评价准则以及基于统计和数学的评价准则。首先假设  $f(x, y), g(x, y), f(x, y)$  分别为未降质图像、退化图像和复原图像，M 和 N 分别是图像的长和宽，令：

$$\varepsilon^2 = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y)^2] \quad (5-2-24)$$

表示未降质图像的能量，A 表示图像的最大灰度值，下面简单介绍一些常用的评价标准：

均方误差和信噪比(图像意义上的)都反映了两幅图像之间的差异，比较对象是两幅图像，而信噪比的改善量就是在图像复原领域评价复原效果的一个指标，它涉及到三幅图像，原图像、模糊图像、复原图像。

均方误差(Mean Square Error, MSE)是最早采用、最常用的客观评价标准之一。其反映了复原图像与未降质图像之间的全局差异，是一种完全参考(Full-Reference)度量方法，表示形式为

$$\text{MSE} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2 \quad (5-2-25)$$

1) 信噪比类

信噪比类实际是均方误差的一种变形，对它取了负对数，两者在本质上是一致的。

$$\text{SNR} = -10 \log_{10} \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y)]^2}$$

$$\text{PSNR} = -10 \log_{10} \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}{A^2} \quad (5-2-26)$$

其中：M-图像的长；N-图像是和高；A-图像的最大灰度值。

A-图像的最大灰度值； $\epsilon^2$ -未降质图像的能量； $f(x, y)$ -原图像； $\hat{f}(x, y)$ -处理后的图像。

2) 模糊系数  $K_w$

模糊系数  $K_w$  表示该图像的模糊程度，计算流程如图 5-2-4 所示。

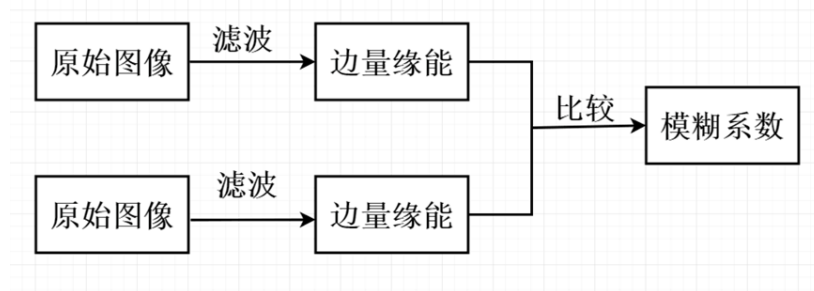


图 5-2-4 模糊系数计算流程

模糊系数  $K_w$  的计算公式：

$$S_i = \sum_i \sum_j |y_{f'}(i, j, k)|$$

$$K_w = \frac{S_{i.out}}{S_{i.in}} \quad (5-2-27)$$

3) 质量指数  $Q$

$$Q = \frac{4\delta_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\delta_x^2\delta_y^2)[(\bar{x})^2+(\bar{y})^2]} \quad (5-2-28)$$

其中：

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \\ \delta_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \\ \delta_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \\ \delta_{xy}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \end{array} \right.$$

其中： $M$  -图像的长; $N$  -图像是和宽。

一般说来， $Q$  越大， $PSNR$  越大， $K_w$  越小，则说明图像复原效果越好，反之则越差。

## 六、模型的实验即检验结果

### 6.1 模拟实验各项指标

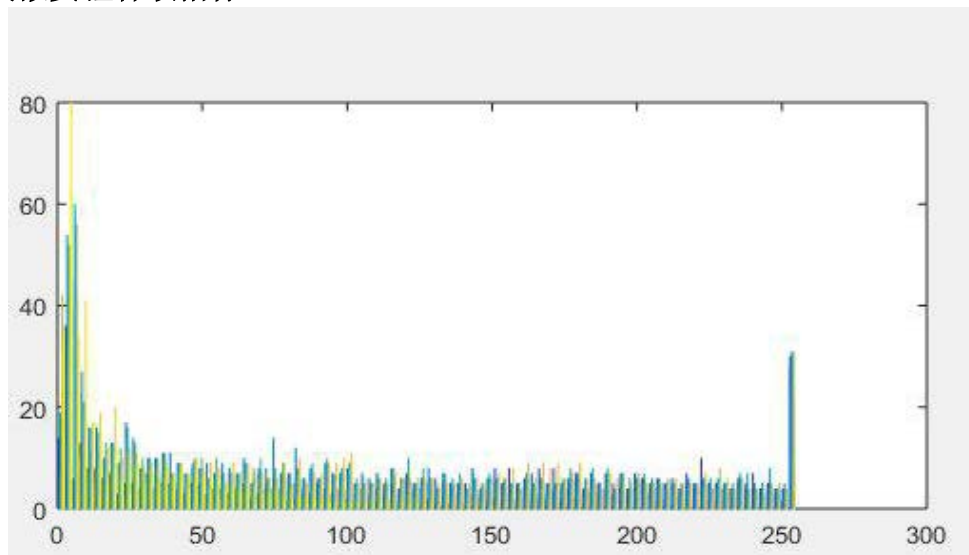


图 6-1-1 维纳滤波指标

数据如下：

表一：维纳滤波指标数据表格

指标	Q	PSNR	Kw
	0.16542	18.1853	2.1736

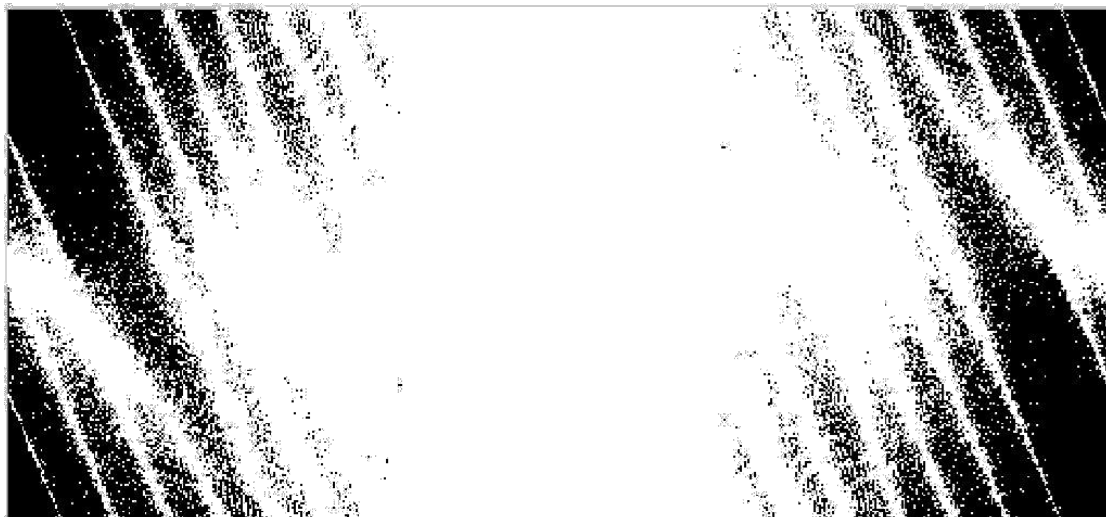


图 6-1-2 模糊角度

其中数据：  $P=80$  90

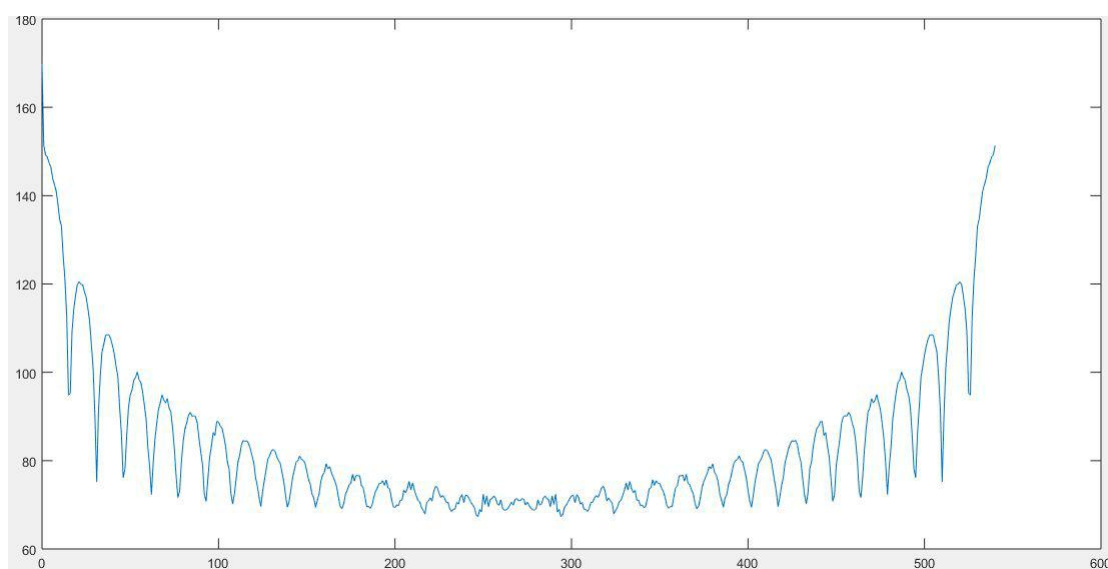


图 6-1-3 模糊长度

## 6.2 维纳滤波的复原图像流程：



图 6-2-1 复原流程详解图



图 6-2-2 原始图片



图 6-2-3 灰度化图像

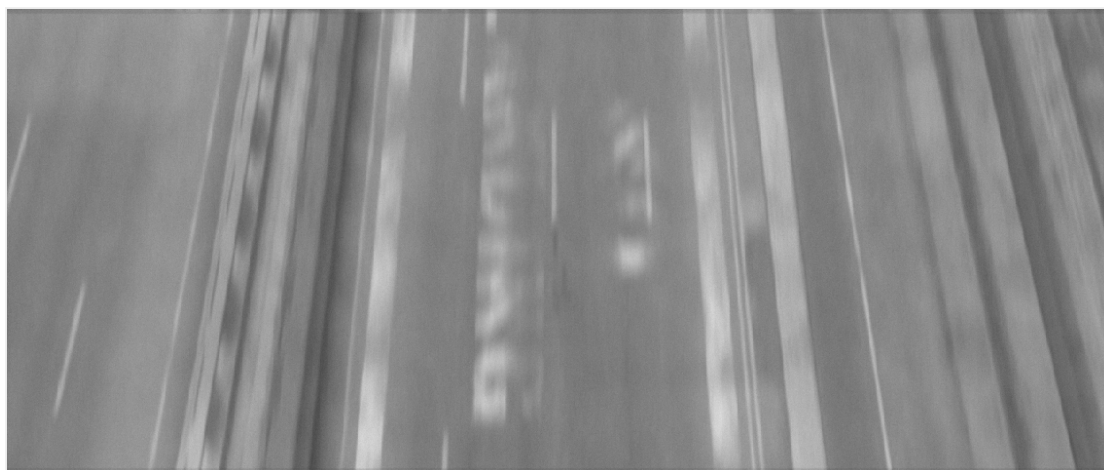


图 6-2-4 模糊噪声图像

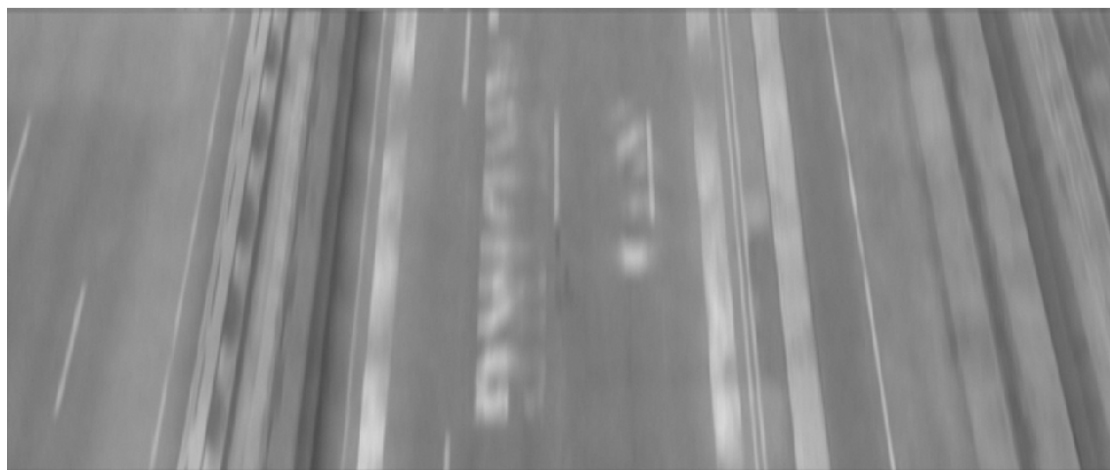


图 6-2-5 去除噪声图像



图 6-2-6 复原图像

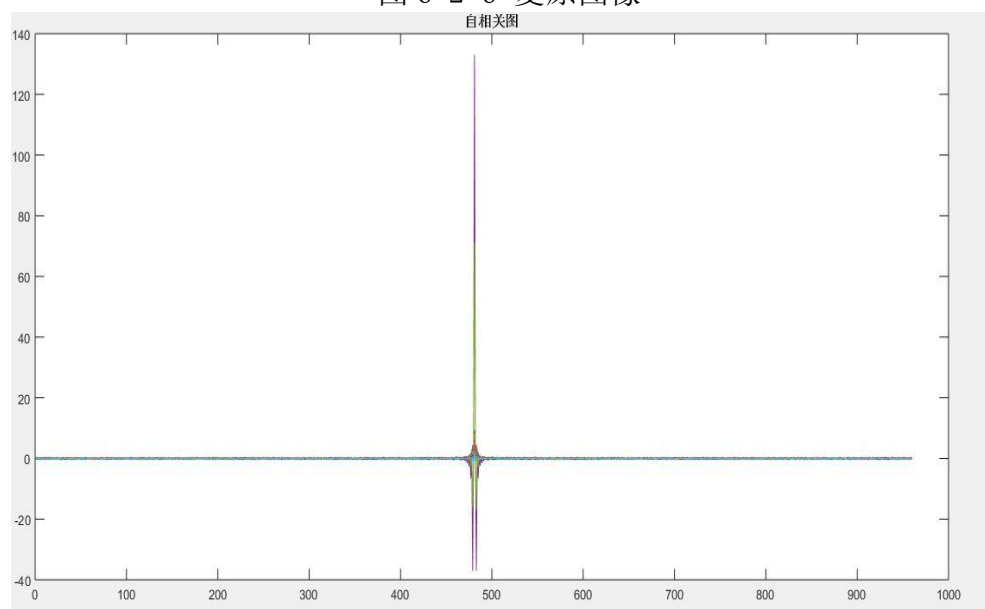


图 6-2-7 自相关

## 七模型的优缺点分析与评价

对于本题所建的数学模型及结果我们对模型进行了分析，有以下几点优点：

（1）在本文中所建立的运动模糊图像恢复模型思维缜密，逻辑性较强，数据结果是真实可靠的并且容易理解。

（2）在建立退化模型以及复原模型时考虑到了噪声的影响，并且针对不同的噪声运用不同的处理函数。

（3）我们对造成运动模糊分类和原理及其解决方法，进行全面的分析并与模糊图像的模型紧密的相结合，恢复效果十分显著。

（4）模型的计算采用专业软件，可靠性高

但还存在着某些缺点：

（1）本文只列举了 Lucy-Richardson 和维纳滤波恢复图像模型，对其有效性不具有特别的说服力

（2）由于模糊图像采用了维纳滤波的去噪，维纳滤波本身的局限性不能用于噪声为非平衡的过程。

（3）噪声的干扰对图像的恢复效果有极大的影响，本文并没有对模糊图像噪声干扰进行全面的分析

### 模型评价

- 1、本文的第一个难点在于对外来的影响（如噪音干扰所等）容易忽视，难以想到。
- 2、模型中的第二个难点在于模型中加噪声和去噪声的计算和处理得到确定的参数。

## 八参考文献

- [1]赵丹培, <http://wenku.baidu.com/view/2ff4fd6f1eb91a37f1115cbf.html>,) 2015/8/28。
- [2] 杨庆怡. 图像复原方法研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2012, (7):88-89
- [3]姜启源, 数学模型, 北京: 高等教育出版社, 2004 年。
- [4] 张素琦 李斌 刘巧红 ; 匀速运动模糊图像复原算法的研究; 200072
- [5]周玉 彭召意 运动模糊图像的维纳滤波复原研究 , 计算机工程与应用 2009, 19
- [6]付青青, 图像复原算法与研究; 信息技术 , 2010, 10
- [7]张德丰 张葡萄 ; 维纳滤波图像恢复的理论分析与实现 中山大学学报(自然科学版) 2006, 6
- [8] 胡春亚, 对图像处理中维纳滤波复原算法的改进研究; 2012, 21

## 附录

### 附录1

维纳滤波复原算法matlab 代码:

```
% % -----维纳滤波复原-----
[filename,pathname]= uigetfile ('*.*','D:\建模软件\matlab');
image=imread([pathname, filename]);%读入原图像文件?
image1=rgb2gray(image); %将原图像灰度化
imwrite(image1,'yuantu.bmp');
figure(1),imshow(image);
title('原图像');figure(2),imshow(image1);title('灰度化图像');
% % 使用运动 PSF 制造图像模糊,使用函数 fspecial 创建点扩散函数 PSF-----
LEN=25; %指定位移 21 个元素
THETA=90; % 运动角度为 11 度
PSF=fspecial('motion',LEN,THETA); %得到点扩散函数 %用点扩散函数对图像进行处理,模拟运动模糊
Blurredmotion=imfilter(image1,PSF,'circular','conv');
figure(3),imshow(Blurredmotion); %显示运动模糊的图像
title('运动模糊图像'); % % 在运动模糊仿真图像中加入噪声,更合乎与实际环境
-----
noise=imnoise(Blurredmotion,'gaussian',0.1,0.0001); %人工制造噪声
MFN=imadd(Blurredmotion, im2uint8(noise)); %将噪声和模糊图像融合
imwrite(MFN,'mohu.bmp'); figure(4),imshow(MFN); title('模糊噪声图像');

% % 小波全局阈值滤波法去除图像中的噪声
-----%消噪处理: 设置函数 wpdencmp 的消噪参数
[thr,sorh,keepapp]=ddencmp('den','wv',MFN);
X2=wdencmp('gbl',MFN,'sym4',2,thr,sorh,keepapp);
figure(5),imshow(uint8(X2)); %保存并显示图像。
title('去除噪声图像'); % % 采用维纳滤波法复原图像
IP=abs(fftn(image1)).^2;
ICORR=fftshift(real(ifftn(IP)));
NP=abs(fftn(noise)).^2;
NCORR=fftshift(real(ifftn(NP)));
wnr1=deconvwnr(MFN,PSF,NCORR,ICORR); %在已知真是 PSF 的情况下,对图像进行复原。
imwrite(wnr1,'recover.bmp');
figure(6),imshow(wnr1,[]); %保存并显示图像。 title('维纳滤波复原图像');
figure;
```



```
subplot(1, 2, 1); imshow(I); title('原图像');
subplot(1, 2, 2); imshow(I1); title('加噪声图像');
[PSNR, MSE] = psnr(I, I1);
function [PSNR, MSE] = psnr(X, Y)
% 计算峰值信噪比 PSNR、均方根误差 MSE
% 如果输入 Y 为空，则视为 X 与其本身来计算 PSNR、MSE
if nargin<2
    D = X;
else
    if any(size(X)~=size(Y))
        error('The input size is not equal to each other!');
    end
    D = X-Y;
end
MSE = sum(D(:).*D(:))/numel(X);
PSNR = 10*log10(255^2/MSE);
display(MSE);
display(PSNR);
end
```

## 附录2

% 求解模糊运动角度matlab 代码:

```
% % -----模糊角度的求解-----
I=imread('123.jpg');
L=rgb2gray(I);
THETA=40;
LEN=31;
PSF=fspecial('motion',LEN,THETA);
B=imfilter(L,PSF,'circular','conv');
imshow(B);
19
B1=fft2(double(B));
B2=mat2gray(log(abs(B1)));
figure, imshow(B2);
BW=im2bw(B2, 0.4);
figure, imshow(BW);
BW=1-BW;
figure, imshow(BW);
bw=imcrop(BW, [0 0 30 40]);
figure, imshow(bw);
bw=edge(bw, 'sobel');
figure, imshow(bw);
[H, theta, rho]=hough(bw);
P=houghpeaks(H, 5, 'threshold', ceil(max(H(:))));
```

P

### 附录3

% 求解模糊运动长度matlab 代码:

```
% % -----模糊角度的求解-----
I=imread('123.jpg');
L=rgb2gray(I);
imshow(L);
THETA=0;
LEN=35;
PSF=fspecial('motion',LEN,THETA);
B=imfilter(L,PSF,'circular','conv');
figure,imshow(B);
%模糊图像
B1=fft2(double(B));
B2=mat2gray(log(abs(B1)));
figure,imshow(B2);
%模糊图像的频谱图
C=sum(B2,1);
%对频谱图求列和
[m,n]=size(C);
x=0:1:n-1;
y=C;
figure,plot(x,y);
%绘制频谱列和曲线图
```

### 附录4

% 客观评价模型指标算法matlab 代码:

```
clear all
clc
a=imread('eyechart1.bmp','bmp'); %未处理质量较差图像
b=a([64:120],[67:126]);
a=imread('eyechart2.bmp','bmp'); %算法处理后质量较好图像
c=a([64:120],[67:126]);
% % 从eyechart3.bmp 中截取测试参考图象,截取部分需要进行缩放-----
% % 使之与eyechart1.bmp,eyechart2.bmp 截取部分大小匹配-----
a=imread('eyechart3.bmp','bmp'); %高清晰参考图象
d=a([64:120],[67:126]);
e=imresize(d,[length(b(:,1)),length(b(1,:))],'bicubic');
%由于eyechart3.bmp 和eyechart1.bmp,eyechart2.bmp 比例不一样,这里要进行比例调整
imwrite(b,'area_eyechart1.bmp','bmp');
imwrite(c,'area_eyechart2.bmp','bmp');
imwrite(e,'area_eyechart3.bmp','bmp');
subplot(1,3,1);
imshow(e);
title('eyechart3.bmp 截取部分,参考图象');
hold on;
```

```

subplot(1,3,2);
imshow(b);
title('eyechart1.bmp 截取部分');
hold on;
subplot(1,3,3);
imshow(c);
title('eyechart2.bmp 截取部分');
%% 以下部分为计算截取图象area_eyechart1.bmp 和area_eyechart1.bmp 的PSNR、模糊
%% 系数、质量指数Q*-----
%% 功能为对计算污染图象相对于源图象的质量-----
clc;
clear;
PSNRenable=1; %PSNR 计算使能, 为0 不计算, 为1, 计算
KBlurenable=1; %模糊系数KBlur 计算使能, 为0 不计算, 为1, 计算
Qenable=1; %质量指数Q 计算使能, 为0 不计算, 为1, 计算
for m=1:2
    imsrcnamehead=' area_eyechart3'; %源图象文件名头
    imsrcnameext=' bmp'; %源图象文件名扩展
    if m==1 %以area_eyechart1.bmp 为测试图象
        imdstname=strcat(' area_eyechart1','.',imsrcnameext); %污染图象文件名, 可修改
    elseif m==2 %以area_eyechart2.bmp 为测试图象
        imdstname=strcat(' area_eyechart2','.',imsrcnameext); %污染图象文件名, 可修改
    end
    %-----
    iminfo=imfinfo(strcat(imsrcnamehead,'.',imsrcnameext)); %源图象信息读取
    26
    imsrc=imread(strcat(imsrcnamehead,'.',imsrcnameext)); %源图象读取
    imdst=imread(imdstname,imsrcnameext); %污染图象读取
    doubleimsrc=double(imsrc); %转换为浮点类型
    doubleimdst=double(imdst); %转换为浮点类型
    %-----源图象和污染图象读取
    W=iminfo.Width; %图象宽
    H=iminfo.Height; %图象高
    %-----PSNR 计算-----
    if PSNRenable==1
        PSNR=0.0; %PSNR 赋初值
        for j=1:H
            for i=1:W
                PSNR=PSNR+double(((doubleimsrc(j,i)-doubleimdst(j,i))*(doubleimsrc(j,i)-doubleimdst(j,i))));
            end
        end
        PSNR=PSNR/W/H;
        PSNR=10*log10(255*255/PSNR)
        %-----PSNR 计算完毕-----
    end
    %-----模糊系数KBlur 计算-----

```

```

if KBlurenable==1
Sin=0.0; %Sin 赋初值
Sout=0.0;
for j=2:H-1
for i=2:W-1
t=doubleimsrc(j-1,i+1)+doubleimsrc(j+1,i-1)-doubleimsrc(j-1,i-1)-doubleimsrc(j+
1,i+1);
if t<0
t=-t;
end
Sin=Sin+t; %源图象邻域边缘能量计算
t=doubleimdst(j-1,i+1)+doubleimdst(j+1,i-1)-doubleimdst(j-1,i-1)-doubleimdst(j+
1,i+1);
if t<0
t=-t;
end
Sout=Sout+t; %污染图象邻域边缘能量计算
end
end
KBlur=Sout/Sin
end
%-----KBlur 计算完毕-----
%-----质量指数Q 计算-----
if Qenable==1
Q=0.0; %Q 赋初值
Qnum=0; %图象以7X7 块大小计算每块的Q，逐像素的移动块窗口，这里Qnum 为块数量的
计数
27
for j=4:H-3
for i=4:W-3
midsrc=0.0;
middst=0.0;
varsrc=0.0;
vardst=0.0; %源图象和污染图象块内的平均值和方差赋初值
varsredst=0.0; %源图象和污染图象块内的协方差赋初值
for n=-3:3
for m=-3:3
midsrc=midsrc+doubleimsrc(j+n,i+m);
middst=middst+doubleimdst(j+n,i+m);
end
end
midsrc=midsrc/49;
middst=middst/49;
% % 源图象和污染图象块内的平均值计算-----
for n=-3:3
for m=-3:3
varsrsrc=varsrsrc+(doubleimsrc(j+n,i+m)-midsrc)*(doubleimsrc(j+n,i+m)-midsrc);

```

```

        vardst=vardst+(doubleimdst(j+n,i+m)-mddst)*(doubleimdst(j+n,i+m)-mddst);
        varsrddst=varsrddst+(doubleimsrc(j+n,i+m)-mddsrc)*(doubleimdst(j+n,i+m)-mddst)
    ;
end
end
    varsrc=varsrc/48;
    vardst=vardst/48;
    varsrddst=varsrddst/48;
    if ((varsrc+vardst)*(mddsrc*mddsrc+mddst*mddst))~=0 %分母不为零的块才计
算质量指数Q
        Q=Q+4*varsrddst*mddsrc*mddst/((varsrc+vardst)*(mddsrc*mddsrc+mddst*mddst)
    );
% % 源图象和污染图象块内Q 计算完毕-----
Qnum=Qnum+1; %块计数加1
    end
    end
end
Q=Q/Qnum
end
%-----质量指数Q 计算完毕-----

```

## 附录5

噪声分析算法代码:

```

clear all
im=imread('gugu1.bmp');
[m,n,h]=size(im);
f11=ones(192,162,3);
f22=ones(130,130,3);
f33=ones(100,100,3);
f44=ones(70,70,3);
for i=1:190
    for j=1:162
        for k=1:3
            f11(i,j,k)=im(i,j,k);
        end
    end
end
for i=1:130
    for j=501:630
        for k=1:3
            f22(i,j-500,k)=im(i,j,k);
        end
    end
end
for i=721:870
    for j=11:170
        for k=1:3
            f33(i-720,j-10,k)=im(i,j,k);
        end
    end
end

```

```
        end
    end
end
for i=761:830
    for j=561:630
        for k=1:3
            f33(i-760, j-560, k)=im(i, j, k);
        end
    end
end
end
figure, subplot(221), hist(f11, 100), subplot(222), hist(f22, 100), subplot(223), ...
hist(f33, 100), subplot(224), hist(f44, 100);
```