

## 车辆运动模糊图像分块恢复的新方法

李宇成\*, 余海桃, 王目树

(北方工业大学 机电工程学院, 北京 100144)

(\*通信作者电子邮箱 lyc@neut.edu.cn)

**摘要:**利用维纳滤波进行真实运动模糊图像恢复的过程中,振铃效应和局部恢复不理想的现象严重影响恢复结果,通过理论分析、实验对比以及研究真实运动模糊过程的特点,找出了问题发生的主要原因。提出采用人工边界补偿和分块恢复的方法来抑制振铃和局部不理想的现象,并给出了模糊参数与空间位置和速度的关系以及具体的分块策略。实验结果表明,所提出的边界补偿和分块恢复方法能很好地减少振铃效应,并保持整体图像恢复效果的一致性。

**关键词:**维纳滤波;运动模糊;振铃效应;模糊过程;模糊参数

**中图分类号:** TP391.4 **文献标志码:** A

### New method of block-restoration for motor-vehicle blurred images

LI Yu-cheng\*, YU Hai-tao, WANG Mu-shu

(College of Mechanical Electrical and Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

**Abstract:** During the restoration of actual motion blurred images based on Wiener filtering, restoration results get affected by serious ringing effect and unsatisfactory local restoration. Its main reasons were found through theoretical analysis, experimental comparisons and the study of the characteristics of the actual motion blurring process. It was proposed that the artificial boundary compensation and block-restoration were used to restrain ringing effect and local unsatisfactory restoration. The relations of blur parameters, space positions and speeds, even the standard of blocking partition were given. The experimental results verify that the proposed method of the boundary compensation and the block-restoration can effectively reduce ringing effect and maintain the consistency of the overall image restoration effect.

**Key words:** Wiener filtering; motion blur; ringing effect; blur process; blur parameter

## 0 引言

运动模糊图像的恢复对图像的利用和进一步分析至关重要,特别是对图像进行识别和信息提取具有非常大的实际意义。对模糊图像的处理主要有检测模糊参数和恢复处理两个关键步骤,需要采用相应的检测或处理方法。例如霍夫变换<sup>[1]</sup>、最大期望(Expectation Maximization, EM)算法<sup>[2]</sup>、改进的Radon变换<sup>[3]</sup>、差分<sup>[4]</sup>、相关系数法<sup>[5]</sup>、方向微分<sup>[6]</sup>以及样条插值<sup>[7]</sup>等方法能够用来检测模糊参数;维纳滤波和迭代法被广泛地用于图像恢复,此外,逆滤波算法<sup>[8]</sup>、遗传算法<sup>[9]</sup>和小波变换法<sup>[10]</sup>也被用于图像恢复。但在实际图像恢复中,存在很多影响恢复效果的因素,其中振铃效应和局部恢复差异的问题较为明显。目前,针对运动模糊图像恢复结果中的振铃现象,已有一些处理方法,如自适应滤波<sup>[11-12]</sup>、改进的自适应滤波<sup>[13]</sup>等,试图弱化振铃现象;而改进 $\lambda$ 取值的维纳滤波恢复<sup>[14]</sup>、循环边界延拓法<sup>[15]</sup>则试图避免产生振铃。但这些方法均存在处理结果不太理想或计算量成倍增加等问题。而目前鲜有文献涉及运动模糊图像恢复中整体与局部参数差异的问题,这一问题也明显影响恢复的效果。

本文围绕这两个问题,提出采用人工边界补偿和分块恢复的方法来进行图像恢复,并给出了速度、位置与模糊参数的关系和基本分块策略,以及相应的实验结果。理论分析和实验证明:基于维纳滤波对实际模糊图像恢复时,存在的主要问

题是:1)实际运动模糊过程是单方向的,不能满足维纳滤波算法对输入信号的周期性要求,所以,实际模糊图像的恢复结果存在严重的振铃效应;2)在实际运动模糊的成像过程中,前景在运动,而背景是静止的;此外,由于物体的立体结构,图像各部分的模糊参数相对相机而言也不一致,因此,采用同一模糊参数难以达到一致清楚的整体恢复效果。

## 1 振铃产生的原因分析

对一幅运动模糊图像,可以先采用Radon变换求出运动模糊参数,然后利用维纳滤波根据估计的模糊长度及角度进行恢复。在人工模拟模糊和恢复的处理方法中,首先将平面图片首尾环形对接,然后进行人工模拟模糊和恢复,整体恢复效果相当理想且没有振铃现象产生,参见图1。

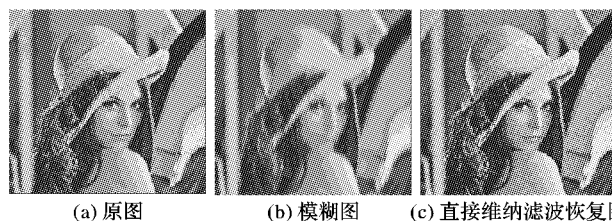


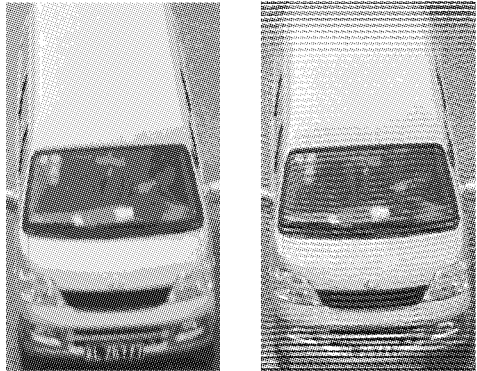
图1 模拟模糊和恢复图

对马路上行驶的汽车的实际运动模糊图像(图2(a)),采用Radon变换和维纳滤波处理后得到的恢复图像如图2(b),边界呈现出明显的振铃现象。

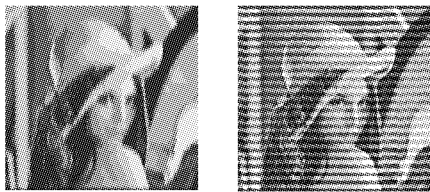
收稿日期:2011-10-24;修回日期:2011-12-07。

**作者简介:**李宇成(1954-),男,江西赣州人,教授,博士,主要研究方向:图像处理、智能控制、嵌入式系统;余海桃(1987-),男,湖北荆州人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、嵌入式系统;王目树(1981-),男,山东济宁人,实验师,硕士,主要研究方向:视频图像压缩。

维纳滤波是频域恢复法,其要求待恢复的图像是周期性的,然而实际的模糊图像是非周期性的,这是边界振铃现象的成因。事实上,如果取消人工模拟模糊中为保证周期性而进行的首尾对接处理,将图1(b)变成图3(a),依然采用维纳滤波方法得到的恢复图像就如图3(b),呈现出严重的振铃现象,如图2(b)的现象,由于图片较小,所以振铃现象覆盖了整张图片。这表明,如果待恢复图像不满足周期性条件,经维纳滤波后一定会出现振铃现象。



(a) 公路上实际模糊图 (b) 直接维纳滤波恢复图  
图2 实际模糊和恢复图



(a) 非循环模糊图 (b) 直接维纳滤波恢复图  
图3 非循环模糊和恢复图

## 2 边界补偿去振铃

### 2.1 模拟运动模糊

假定模糊长度为2个像素、模糊角度为 $90^\circ$ ,运动模糊后,各像素点的灰度值是相邻3点叠加的平均值,循环模糊过程如图4所示。由于图片首尾相接,满足周期性要求。

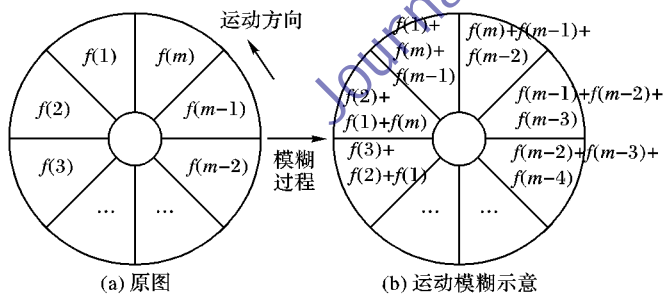


图4 模拟模糊过程

为了克服振铃现象,应该将非周期模糊图变成周期循环模糊图,即对模糊图像进行边界补偿,人工将实际的模糊图像改造成周期性模糊图像。不失一般性,可以认为运动模糊后某点像素灰度值是由原图中该点加后两点,三点像素灰度叠加后的平均值。更一般的,对一幅 $m \times n$ 大小的模糊图像,假设模糊长度为 $l$ ,为了满足周期性的要求,需要对图像的上端 $l$ 行范围内的像素值进行补偿修改,即需要对图像上端第1行到第 $l$ 行的像素进行补偿。设 $f(i)$ 和 $f'(i)$ 分别是补偿前和补偿后的行像素值,参照图4(b),前 $l$ 行的补偿式如式(1):

$$f'(i) = [f(i) + f(i-1) + \dots + f(1) + f(m) + f(m-1) + \dots + f(m-l+i)] \cdot (l+1)^{-1};$$

$$1 \leq i \leq l \quad (1)$$

例如,当 $l=2, i=1$ 时,即第一行的补偿式为: $f'(1) = [f(1) + f(m) + f(m-1)]/3$ 。

边界补偿后,依然采用维纳滤波对图3(a)进行恢复,结果获得与图1(c)几乎完全一致的效果,见图5(c),这说明了边界补偿能够消除振铃效应,采用文献[15-16]提到的方法同样进行恢复,结果如图5(a)、(b)。



(a) 文献[15]方法 (b) 文献[16]方法 (c) 本文方法

图5 边界补偿后的恢复图

目前对于恢复结果的评价主要有两大类方法<sup>[16]</sup>:一是主观评价;二是客观评价。主观评价由人眼视觉给分,分为:很差、较差、一般、较好和很好5个等级。客观评价可以采用全参考评价方法。本文采用主观评价和参考评价方法中的均方误差对模拟模糊图像的恢复结果进行数值评价,参见表1。

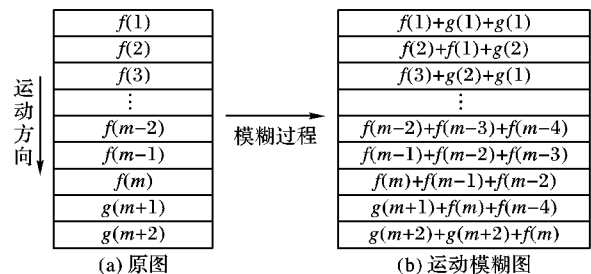
表1 去振铃结果评价

图像	主观评价	均方误差(MSE)
直接维纳滤波恢复图(图3(b))	很差	2000
修改1值恢复图(图5(a))	较好	303
循环延拓恢复图(图5(b))	较好	233
本文方法恢复图(图5(c))	很好	27

表1中与原图像相比较的均方误差的值越小质量越好,评价结果表明本文方法恢复结果明显优于其他两种方法,并且客观数值评价与主观评价结果基本一致,另外采用循环延拓恢复的方法去振铃在计算量上是采用本文方法的近4倍,在对高清图片进行恢复的时候无疑大大增加了计算难度。

### 2.2 实际匀速运动模糊

假定模糊长度含义同2.1节,模糊过程和各像素点的灰度值变化如图6所示,其中 $g(i)$ 代表相应位置的地面灰度值。根据图6可见,实际模糊图的首尾不相接,不满足周期性要求,所以图2(b)产生了如图3(b)的严重振铃现象。为此,也需要参照2.1节的情况对原始模糊图进行边界补偿。



(a) 原图

(b) 运动模糊图

图6 实际运动模糊过程

对图2(b)边界补偿后恢复结果如图13(c)所示,但存在整体恢复结果不一致的情况。下一节将对该问题进行讨论。

## 3 图像的分块恢复

以汽车运动模糊过程为例,由于运动模糊目标各个部分相对于摄像机的位置、角度不同,这将使图像中各部分所对应的模糊参数存在差异。为此,考虑对图像进行分块恢复。如图7所示,设定 $x-y$ 直角坐标系,在一张照片的曝光时间 $T$ 中,观察物体上任意一点以运动速度 $v$ ,从 $A(x, y)$ 运动到 $A'(x', y')$ ,

$y$ ) 的过程。其中  $O$  点为坐标原点,也是摄像机在地面的垂直投影点, $M$  为过  $O$  点垂直于摄像机主光轴的平面; $\theta = 90^\circ - \varphi$  为主光轴与垂线的夹角; $B$  和  $B'$  分别为  $A$  和  $A'$  在  $M$  平面的成像。点的运动距离为  $d = \overline{A'A} = T \cdot v$ ,其在  $M$  上的成像  $D = B'B$  即为模糊长度。相机照片上的模糊长度  $l$  与  $D$  为简单的比例关系,如式(2)所示:

$$l = c \cdot D \quad (2)$$

其中  $c$  为与摄像机参数相关的常数。

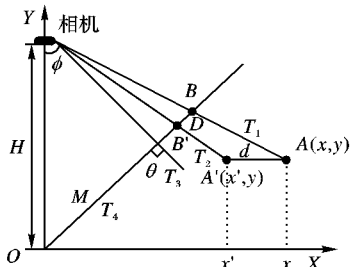


图7 汽车运动模糊过程示意图

图7中  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  分别是四条直线,令其斜率分别为: $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  和  $k_4$ 。可以得到  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_4$  的直线方程分别是:

$$\begin{cases} T_1: y = k_1 x + H \\ T_2: y = k_2 x + H \\ T_3: y = k_3 x + H \\ T_4: y = k_4 x \end{cases} \quad (3)$$

可以求得  $T_1$  与  $T_4$  交点  $B$  的坐标为:  $(\frac{H}{k_4 - k_1}, \frac{k_4 \cdot H}{k_4 - k_1})$ ,

$T_2$  与  $T_4$  交点  $B'$  的坐标为:  $(\frac{H}{k_4 - k_2}, \frac{k_4 \cdot H}{k_4 - k_2})$ 。

根据两点之间的距离公式,可以得到  $D$  的表达式:

$$D = \frac{H \cdot |k_1 - k_2| \cdot \sqrt{1 + k_4^2}}{|k_1 - k_4| \cdot |k_2 - k_4|} \quad (4)$$

其中:

$$\begin{cases} k_1 = \frac{y - H}{x} \\ k_2 = \frac{y - H}{x - d} \\ k_4 = \tan \varphi \end{cases} \quad (5)$$

将(5)代入(4)可以得到:

$$D = \frac{H \cdot \left| \frac{y - H}{x} - \frac{y - H}{x - d} \right| \cdot \sqrt{1 + (\tan \varphi)^2}}{\left| \frac{y - H}{x} - \tan \varphi \right| \cdot \left| \frac{y - H}{x - d} - \tan \varphi \right|} \quad (6)$$

两种特殊情况:1) 将相机置于与汽车同一水平面时,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\tan \varphi = \infty$ ,由式(6)得  $D = 0$ ;2) 当相机垂直于汽车运动方向拍摄时,  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\tan \varphi = 0$ ,得  $D = \frac{H}{|H - y|} \cdot d$ ;特别的,  $y = 0$  时,  $D = d$ 。均符合实际情况。

如图8所示,如果车辆斜向运动,即运动方向与相机拍摄方向在水平面投影的夹角为  $\gamma$ ,此时车辆相对相机的运动距离为  $d \cdot \cos \gamma$ ,式(6)可以写成式(7)。

$$D = \frac{H \cdot \left| \frac{y - H}{x} - \frac{y - H}{x - d \cdot \cos \gamma} \right| \cdot \sqrt{1 + (\tan \varphi)^2}}{\left| \frac{y - H}{x} - \tan \varphi \right| \cdot \left| \frac{y - H}{x - d \cdot \cos \gamma} - \tan \varphi \right|} \quad (7)$$

因此,式(7)表示了运动物体上任意一点按某一方向,运动距离  $d$  后的模糊长度。

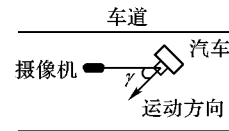
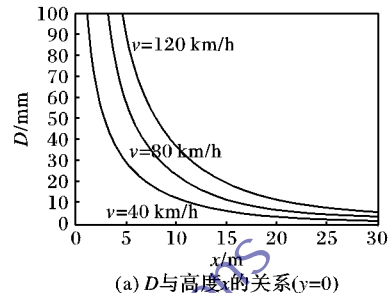
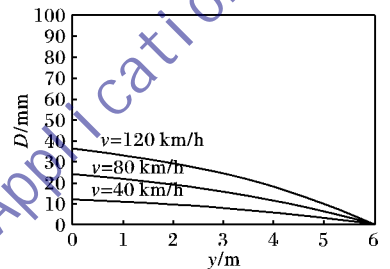


图8 相机与汽车运动方向的相对示意图

根据式(7)可得到  $D$ - $x$ 、 $D$ - $y$  (车的高度不超过摄像机的高度) 的关系如图9( $H = 6$  m,  $T = 0.008$  s,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ )。



(a)  $D$ 与高度 $x$ 的关系( $y=0$ )



(b)  $D$ 与高度 $y$ 的关系( $x=10$  m)

图9 模糊长度  $D$  与空间点的位置关系曲线

由图9(a)可知:当水平距离较近时,模糊长度较长,并且距离越近,模糊长度增长越快;当水平距离较大时( $x \geq 25$ )时,模糊长度随距离的增大产生的变化可以忽略不计。因此,越是拍摄近距离的图片,越是需要采用分块的方法进行恢复。另外,速度越大,模糊长度越大。

由图9(b)可知:当目标点高度与相机高度相等时,模糊长度为0;目标点高度越低、速度越大时,模糊长度越大。

由式(7)可知  $D$  的大小与  $d = T \cdot v$  相关,可以得到  $D$  关于  $v$  的变化曲线如图10(取  $H = 6$  m,  $T = 0.008$  s,  $y = 0$ ,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ )。

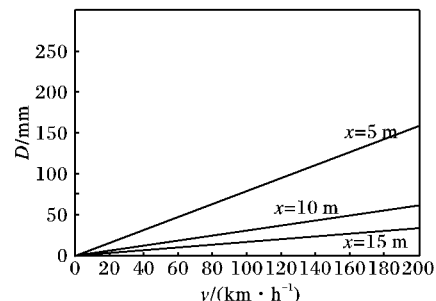


图10 模糊长度  $D$  与速度的关系( $y = 0$ )

由图10可知,速度越大,目标点的模糊长度越大;且随速度的增大,不同区域的点之间的模糊长度差异也明显放大。

根据式(7),目标物体上各点  $(x, y)$  的模糊长度一般互不相同。实际应用中,当模糊长度之差  $\Delta D \geq \delta$  ( $\delta$  可选择为1~3个像素)时,可以将区域进行分块恢复,以期达到更好的恢复效果。



假设摄像机分辨率为500万,即 $2580 \times 1936$ 大小,根据式(2),将 $D$ 变换成 $l$ (单位取像素),如果按照像素差别为1的区域进行分块,则可以得到图11(其中 $H=6\text{ m}$ ,  $T=0.008\text{ s}$ ,  $\varphi=60^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ )。

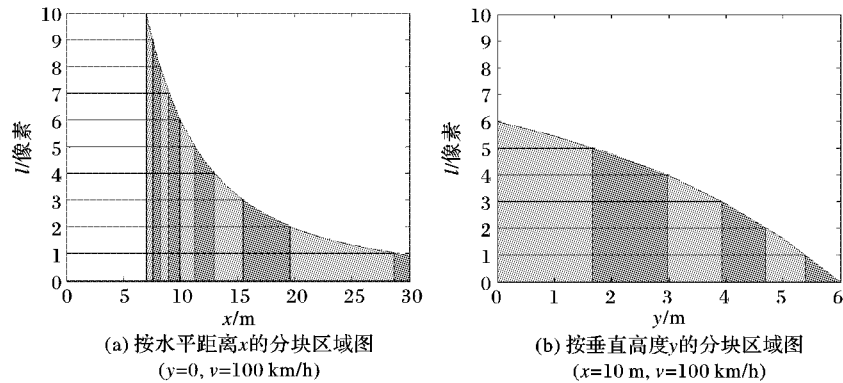


图11 分块参考区域图

#### 4 分块恢复的仿真实验

为了进行分块恢复实验,对一幅如图12(a)的平面图进行模拟实际运动模糊处理,使得上中下三个区域的模糊角度

通过图11可知,在上述给定参数下,对目标可以如何进行分块恢复。

图11(a)显示,目标水平距离越近,模糊长度差异越为明显,分块恢复的必要性越加突出。

为90,模糊长度分别为10、12、14个像素,得到模糊图如图12(b)所示,然后分别采用统一模糊参数和分块进行模糊恢复处理,其结果如图12(c)~(f)所示。



图12 整体与分块恢复对比

图12中的(c)~(e)中,黑框区域内表示整张恢复图中效果最好的区域。根据表2的评价结果可知采用平均值进行整体恢复的效果尚可,这也是目前大多算法采用的一种恢复方式,如图12(d)。但明显差于采用分块恢复的结果,如图12(f)所示。所以,对存在立体结构或长/高度差异的物体进行模糊恢复,采用分块恢复能够达到更好的效果。

类似的,采用主观法和均方误差MSE方法对是否分块的恢复结果进行评价的结果如表2。

#### 5 算法实现

根据上面的理论分析,可以总结整个算法的处理流程如下所示。

1)通过现场环境得到相机的相关参数,如相机高度 $H$ 、主光轴角度 $\varphi$ 、相机曝光时间 $T$ 。

2)利用Radon变换等方法检测车辆的运动方向夹角 $\gamma$ 和平均模糊长度 $\mu_d$ ,并将图像进行旋转,使整体运动方向成 $0^\circ$ 或 $90^\circ$ ,以便处理;利用 $\mu_d$ 和 $T$ 估算车辆运动速度 $v$ 。

3)计算车辆与相机的水平距离 $Ox'$ ,建立车辆侧面轮廓拟合曲线的函数关系,若轮廓上某点的坐标为 $(x, y)$ ,则建立关系如 $y=f(x)$ 。

4)根据式(7)和精度要求(如2个像素),按长或高方向进行分块。并参照平均模糊长度,计算各分块的实际模糊长度。

5)按照各块的实际模糊长度,分别进行边界补偿和模糊

恢复处理,得到各分块的恢复结果。

6) 合并分块恢复图,并逆旋转为初始方向,即得到整体的恢复结果。

表 2 仿真结果评价

图像	主观评价	均方误差 (MSE)
$D = 10$ 的恢复图(图 12(c))	较差	2 509
$D = 12$ 的恢复图(图 12(d))	一般	2 939
$D = 14$ 的恢复图(图 12(e))	较差	3 565
分块方法恢复图(图 12(f))	较好	1 377

## 6 去振铃和分块恢复的实际应用

图 13 是在公路上拍摄的实际模糊图像,其中(a)~(d)图分别是模糊原图、直接维纳滤波恢复图、同一参数边界补偿恢复图和分块边界补偿恢复图。另一组实际模糊图处理结果如图 14 所示。

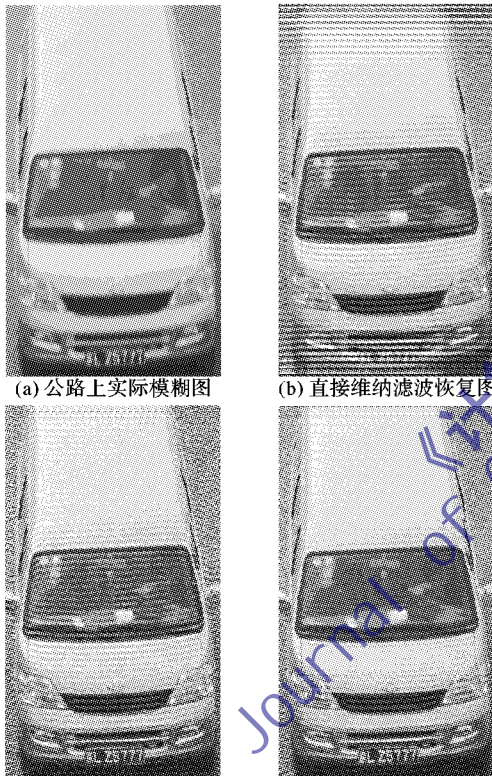


图 13 去振铃和分块恢复的应用结果对比



图 14 实际应用结果

由于无法得到清晰的图片,故不能采用参考法对实际模糊图的恢复结果进行评价。所以,这里只给出了主观评价(表 3)。

根据图 13、14 可见运用本文提出的方法对实际模糊图片进行恢复能很好地去除振铃现象,并具有更好的整体恢复结果。

表 3 实际模糊恢复结果评价

图像	主观评价
直接维纳滤波恢复图(图 13(b))	较差
同一参数边界补偿恢复图(图 13(c))	较好
分块边界补偿恢复图(图 13(d))	很好

## 7 结语

通过对实际运动模糊图像进行边界补偿以及分块恢复,所提出方法能更有效地减少模糊恢复中的振铃效应和减小局部恢复差异,保证了图像整体恢复的一致性。

1) 由式(7)可知,模糊长度的大小与目标点所在的位置和运行速度相关。当运动目标自身长度较长、或高度较高、或者摄像头离目标距离较近时,目标各区域的模糊长度差异较大。并且,随运动速度增大,这种差异被放大。所以,为了获得一致的模糊恢复效果,需要对目标进行分块恢复,并且越是高速运动的目标或大型目标进行分块恢复的必要性越大。图 11 反映了给定条件下,分块区域的划分情况。

2) 实验表明,振铃现象是因为实际运动模糊图像不满足维纳滤波要求的周期性而产生的。为了克服振铃现象,可以人为地对图像的边界进行补偿,以尽可能满足维纳滤波要求的周期性,从而获得较好的恢复效果。

### 参考文献:

- [1] 高梅,陈树越. 匀速直线运动模糊图像的恢复[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(31): 59-60.
- [2] ARASHLOO S R, AHMADYFARD A. Fine estimation of blur parameters for image restoration [C]// Proceedings of the 15th International Conference on Digital Signal Processing. Piscataway: IEEE, 2007: 427-430.
- [3] 李宇成,贾宝华,杨光明. 运动模糊图像的参数估计与恢复[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(19): 4247-4249, 4271.
- [4] NOROUZI N, MOGHADDAM M E. Motion blur identification using image derivative [C]// IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. Piscataway: IEEE, 2008: 380-384.
- [5] TANAKA M, YONEJI K, OKUTOMI M. Motion blur parameter identification from a linearly blurred image [C]// ICCE 2007: International Conference on Consumer Electronics, Digest of Technical Papers. Piscataway: IEEE, 2007: 1-2.
- [6] 陈前荣,陆启生,成礼智. 基于方向微分的运动模糊方向鉴别[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(5): 590-595.
- [7] 姜华,刘国庆,成孝刚. 图像运动模糊方向的检测方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(6): 220-222.
- [8] 张炳坤,罗进文. 二维数字图像恢复算法的研究[J]. 电脑开发与应用, 2010, 23(10): 42-45.
- [9] 邓莉,李欧迅. 一种基于模糊遗传算法的图像分块恢复方法[J]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2009, 14(4): 419-421.
- [10] 王晓,刘泽乾. 基于提升小波的运动模糊图像恢复[J]. 计算机仿真, 2010, 27(5): 194-196.
- [11] WANG CI, XUE PING, LIN WEISI, et al. Fast edge-preserved post-processing for compressed images[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(9): 1142-1147.

(下转第 1115 页)



表1 畸变与校正点的坐标

序号	畸变点坐标	校正后点坐标	序号	畸变点坐标	校正后点坐标
1	(10,8)	(16,11)	6	(29,7)	(33,10)
2	(9,42)	(16,45)	7	(24,42)	(33,42)
3	(5,81)	(16,85)	8	(82,9)	(81,10)
4	(6,119)	(15,117)	9	(83,60)	(81,61)
5	(10,153)	(16,154)	10	(46,9)	(49,11)

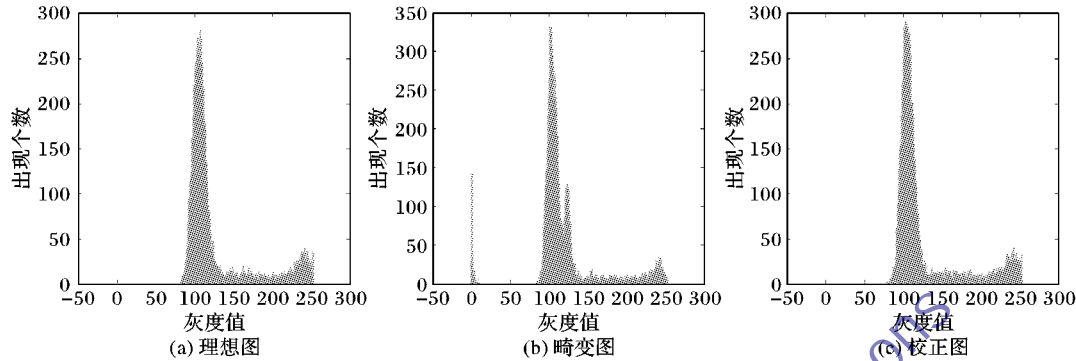


图5 图灰度直方图

从表2中可以看出,无论是灰度直方图的灰度平均值,还是标准差的平均值,校正结果都非常明显。

表2 灰度畸变校正结果

参数	理想值	校正前值	校正前误差/%	校正后值	校正后误差/%
灰度平均值	128.02	119.51	6.6	126.83	0.93
标准差平均值	15.2	18.5	-21.7	14.7	3.20

### 3 结语

本文提出了一种新的桶形畸变校正方法,该方法校正过程简单,方便且容易实现。实验结果表明,校正后的畸变率能够从8%降低到0.9%,并且灰度校正非常明显,从而充分证明了畸变校正方法的正确性和可行性。本文对畸变的图像进行校正处理,这对于扩大广角摄像头的使用范围具有重要意义。由于广角镜头有着其特有的优势,应用前景广阔,因此对广角镜头图片处理的研究是有必要和很有价值的。

#### 参考文献:

- [1] 杨必武,郭晓松. 摄像机镜头非线性畸变校正方法综述[J]. 中国图象图形学报,2005,10(3):269-274.
- [2] KANNALA J, BRANDT S S. A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,

数字图像处理方法将畸变图像变换成原始图像,变换过程分为几何变换和灰度校正。为了定量地说明灰度校正效果,用 Matlab 画出畸变图像和校正后的图像的灰度直方图。在图像的左侧边缘处,取大小为  $76 \times 96$  pixel 的一个矩形区域,用来做其灰度直方图,如图5所示,并用来计算相对误差,如表2所示。

- 2009,28(8):1335-1340.
- [3] 何平,殷睿. 基于弧面映射的图像桶形几何失真的校正方法[J]. 上海电气技术,2009,2(2):25-27.
- [4] SMITH W, VAKIN N, MAISLIN S. Correction of distortion in endoscope images[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1992, 11(1):117-122.
- [5] HUGHES C, GLAVIN M, JONES E, et al. Wide-angle camera technology for automotive applications: A review[J]. Intelligent Transportation Systems, 2009,3(1):19-31.
- [6] 朱日宏,李建欣. 光学成像系统中非线性畸变的数字校正方法[J]. 南京理工大学学报,2004,28(4):414-416.
- [7] 郭永刚,葛庆平,冯平,等. 一种基于控制点自动提取的图像畸变校正算法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(2):214-216.
- [8] 牛建军,刘上乾,姚荣辉. 高准精度光电成像测量系统图像畸变校正算法[J]. 光子学报,2006,35(9):1317-1320.
- [9] 凌伟,王志乾,高峰瑞. 光电测量系统畸变的实时数字校正[J]. 光学精密工程,2007,15(2):277-282.
- [10] 范勇,张佳成,陈念年,等. 图像几何畸变校正方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(29):194-197.
- [11] 张景国,蒋大刚,李晓峰. 广角镜头桶形畸变的二元二次多项式修正法[J]. 光学技术,2010,36(4):500-504.
- [12] 林明汉,胡贤龙,黄星,等. 大视场 CMOS 相机图像的畸变校正[J]. 科学技术与工程,2009,9(18):5508-5511.

(上接第1112页)

- [12] KONG H-S, NIE Y, VETRO A, et al. Coding artifacts reduction using edge map guided adaptive and fuzzy filtering [C]// ICME'04: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Piscataway: IEEE, 2004,2: 1135-1138.
- [13] 周家玉,殷瑞祥. 一种自适应去除振铃滤波新算法[J]. 现代电子技术,2010,58(3):58-60.
- [14] 刘微,朱明,李向荣,等. 运动模糊图像恢复过程中的几个关键问题[J]. 电子器件,2005,28(3):600-603.
- [15] 赵剡,李东兴. 抑制复原图像振铃波纹的频域循环边界算法[J]. 北京航空航天大学学报,2006,32(11):1290-1294.
- [16] 王菲. 运动模糊图像的恢复及恢复质量评价[D]. 西安:西安电子科技大学,2010.
- [17] SRIVASTAVA R, PARTHASARTHY H, GUPTA J P R, et al. Image restoration from motion blurred image using PDEs formalism [C]// IACC 2009: IEEE International Advance Computing Conference. Piscataway: IEEE, 2009: 61-64.
- [18] YOU Y-L, KAVEHM M. Ringing reduction in image restoration by orientation-selective regularization [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1996,3(2):29-31.
- [19] BIN L K, WEIMIAO Y, LIANGL S. Ringing reduction of image restoration[C]// The 6th International Conference on Signal Processing. Piscataway: IEEE, 2002, 2:1757-1761.
- [20] 李宇成,阴亮,王木树,等. 基于图像的运动车辆速度测量[J]. 北方工业大学学报,2008,20(1):32-36.