

# 基于 Z 变换及模糊加权均值滤波的匀速运动模糊图像恢复

黎明和 何斌 岳继光 陆汉雄 李永刚

(同济大学控制科学与工程系 上海 201804)

**摘要** 针对相对匀速运动造成的图像模糊问题,假设目标在像平面内并行于 X 轴方向作匀速运动;在较严格数学推导下建立基于 Z 变换的退化及恢复模型,将差分方程转化为简单的代数方程求解;针对算法容易造成噪声积累使复原图像质量下降的问题,在算法中加入模糊加权均值滤波算子,并给出了完整的算法实现。仿真结果表明,提出的恢复算法在提高模糊图像恢复速度的同时,能有效地抑制噪声、防止噪声的不断扩散,使复原图像的质量得到明显的改善,算法对模糊宽度的变化不敏感,较维纳滤波恢复算法有一定的稳健性及优越性。

**关键词** 图像处理,图像恢复,Z 变换,匀速运动模糊图像,模糊加权均值滤波

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Uniform Motion Blurred Image Restoration Algorithm Based on the Z-transform and Fuzzy Weighted Mean Filter

LI Ming-he HE Bin YUE Ji-guang LU Han-xiong LI Yong-gang

(Department of Control Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract** Aiming at the problem of uniform motion blurred image, suppose the object moves along axis X. Restoration and degradation model was established based on Z- transform by strict mathematical deduction, then difference equation was changed into algebraic equation for simplifying the solving process. Because noise was easily brought and increased with image restoration processing, a fuzzy weighted mean filter was introduced into the restoration algorithm and the algorithm implementation was given concretely. Simulation results show that the proposed method could restore the uniform motion blurred image correctly, effectively and rapidly. Algorithm is not sensitive to fuzzy degree, has a certain stability and superiority compared with other algorithms.

**Keywords** Image processing, Image restoration, Z-transform, Uniform motion blurred image, Fuzzy weighted mean filter

传感器成像过程中,记录介质一次积分时间内拍摄目标和摄像机之间的相对运动会造成图像的模糊,给后续运动图像的处理分析带来困难(比如在捕获)。运动模糊图像常用恢复方法有基于时域的差分恢复法及基于频域的逆滤波、维纳滤波、约束去卷积法等<sup>[1-3]</sup>。但这些方法都相对比较复杂,一般需要进行大量的矩阵运算,运算速度较慢,且可能由于噪声、近似取值等原因,使得图像质量进一步降低。文献[4,5]提出了一种基于 Z 变换的运动模糊图像快速恢复算法,该算法能在保证图像恢复质量的同时,大幅度提高图像恢复运算的速度,基本达到实时的要求。但其最大的缺点是算法的“迭代特性”使得前面像素点的噪声分量会在图像恢复过程中不断放大、累加,影响后续恢复的像素点,使复原图像质量大为下降。为此,有必要在图像恢复过程中,实时地对复原像素点进行修正或平滑滤波处理。常见的图像平滑滤波方法有空间域方法如邻域平均法、中值滤波法和频率域方法如低通滤波法等<sup>[6-10]</sup>。但低通滤波法适合对整个图像进行处理,而本文需要实时地对复原点进行滤波处理,因此,较适合应用空间域

方法处理;中值滤波法对脉冲噪声有较好的抑制作用,且能较好保留边缘信息,但它的平滑能力较差,这大大限制了其在图像降噪中的应用。均值法对高斯噪声有较好的滤波能力,但由于:(1)在模糊图像恢复过程中产生的噪声点与有效点的差值较大,采用相同权值的均值滤波会造成图像特征边缘的失真。(2)在均值运算中,各个点的权值都一样,当滤波区间中存在奇异点(脉冲噪声)时,奇异点在很大程度上影响滤波效果,且奇异点的存在经均值滤波还会影响、扩散到周围点,故均值滤波对脉冲噪声十分敏感,而恢复过程中的噪声正好符合脉冲噪声的特征。(3)均值滤波没有充分利用邻域内测点间的相关性和测点的位置信息。因此,本文在严格数学推导下,提出一种基于 Z 变换及模糊加权均值滤波的匀速运动模糊图像恢复算法,该算法在保证恢复速度的同时,可消除噪声扩散,提高复原图像的质量。

## 1 基于 Z 变换的模糊图像恢复算法

### 1.1 退化原理及过程

到稿日期:2009-11-26 返修日期:2010-02-01 本文受国家自然科学基金(50405045),国家 863 计划(2007AA04Z253)资助。

黎明和(1980-),男,博士生,主要研究方向为仿生机器人,E-mail:limingheliming@sina.com;何斌(1975-),男,博士,教授,主要研究方向为仿生机器人;岳继光(1961-),男,博士,教授,主要研究方向为过程控制、数据可视化等;陆汉雄(1985-),男,硕士生,主要研究方向为图像处理;李永刚(1979-),男,博士生,主要研究方向为仿生机器人。

在运动检测过程中,假设运动目标的运动方向与像平面始终平行,一帧理想的清晰图像为原图像  $f(x,y)$ ,  $f(x,y)$  经过一个退化过程  $h(x,y)$  (如光学系统的点扩散函数 PSF) 得到退化图像  $g(x,y)$ , 这一过程可描述为:

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) \quad (1)$$

式中,  $(*)$  表示卷积, 为了简化运动模糊恢复问题, 这里暂不考虑噪声的影响。

## 1.2 基于 Z 变换的退化及恢复模型

### 1.2.1 退化模型

设图像  $f(x,y)$  在像平面内作匀速直线运动, 运动方向与 X 轴方向平行 (对于旋转匀速运动, 可按文献[4]的方法转换成匀速直线运动; 对于其它方向的匀速运动, 可通过三角公式旋转变换成 X 轴的运动), 速度为  $v$ , 曝光时间为  $T$ , 则成像后可得到模糊图像  $g(x,y)$ :

$$g(x,y) = \frac{1}{T} \int_0^T f(x-v(t), y) dt \quad (2)$$

设每帧图像的总曝光时间  $T$  内运动对象移动  $N$  个采样点, 则有:  $N=v \times T$ , 图像经过采样转化为离散图像  $g(n)$ :

$$g(n) = h(n) * f(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f(n-i) \quad (3)$$

上式的物理意义为模糊路径上任一像素点模糊后的灰度值是该像素点及其前面  $N-1$  个像素点的原灰度值的加权累积,  $N$  为模糊宽度, 用像素数来表示, 并且有  $N \geq 1$ 。设  $G(Z)$  及  $F(Z)$  分别为  $g(n)$  和  $f(n)$  的 Z 变换, 对式(4)进行 Z 变换后得:

$$G(z) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f(z-i) \quad (4)$$

由 Z 变换的移位性质得:

$$G(z) = \frac{1}{N} (F(z) + F(z)z^{-1} + F(z)z^{-2} + \dots + F(z)z^{-(N-1)}) \quad (5)$$

对式(5)进一步整理得到运动模糊图像的退化模型为:

$$H(z) = \frac{G(z)}{F(z)} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} z^{-k} = \frac{1-z^{-N}}{N(1-z^{-1})} \quad (0 < |z| \leq \infty) \quad (6)$$

退化模型  $H(Z)$  及  $F(Z)$  本身均存在零点, 这将导致系统产生振荡, 形成病态系统, 所以应选择  $H(Z)$  的收敛域, 避开其零点的影响, 使系统得到满意的解。

### 1.2.2 恢复模型

在假设条件不变的情况下, 图像的恢复是退化的逆过程。式(6)可整理为:

$$F(z) = N \times (G(z) - z^{-1}G(z)) + z^{-N}F(z) \quad (7)$$

对式(7)进行 Z 逆变换得:

$$f(n) = N \times (g(n) - g(n-1)) + f(n-N) \quad (8)$$

从式(8)可以看出, 本文的恢复模型只需要进行简单代数运算即可得到复原图像, 可实现运动模糊图像的实时恢复, 较其它算法具有一定的优越性。

由于式(8)为一个递推表达式, 如果像素点  $f(n-N)$  存在着恢复误差或噪声 ( $H(Z)$  及  $F(Z)$  由于本身均存在零点, 因此容易出现畸变点), 则  $f(n)$  也会受到影响, 且噪声将进一步扩散到  $f'(n+mN)$ ,  $m=0, 1, 2, \dots, m \leq (\text{width}-n)/N$ , width 为模糊图像宽度。因此, 有必要在  $f(n)$  恢复的同时, 对其输出值进行估计或者滤波, 以减小其对后续输出点的计算误差。

在滤波算法的选择方面, 我们考虑到噪声主要表现为局

部极个别的畸变点 (当然, 如果不处理就会影响后续需要恢复的点), 可以将图像转换到频域进行处理, 将高频部分去掉, 再反变换到时域, 但针对每个窗口都进行频域处理相对还是较为复杂的, 因此, 这里考虑在时域对其进行处理。均值滤波算法是常用的时域算法, 但容易造成过平滑或图像失真问题, 而加权均值的滤波算法在保持原来有效信号的同时, 能对畸变点有较好的滤波作用, 因此, 本文提出在恢复运算进行的同时结合模糊加权均值滤波算子对恢复点进行降噪处理, 以改善复原图像的质量。

## 2 模糊加权均值滤波算法

在经典加权均值滤波算法中, 滤波窗口内的所有像素点均被赋予固定的权值, 容易造成噪声的扩散, 使滤波后的图像变模糊。而基于模糊集理论的模糊加权均值滤波算法能根据窗口内各点灰度值的不同, 自适应地调整权值, 滤除噪声点的同时能很好地保留边界信息<sup>[6,9,10]</sup>。

设在论域  $U$  上, 如果其组成的每一个元素  $u$  都由一个  $\mu_{\bar{A}}(u)$  来表征, 且  $\mu_{\bar{A}}(u)$  在实轴闭区间  $[0, 1]$  中取值, 则映射  $\mu_{\bar{A}}$  就确定了  $U$  上的一个模糊子集  $\bar{A}$ , 简称模糊集, 即模糊集合。 $\mu_{\bar{A}}$  称为模糊集  $\bar{A}$  的隶属函数。 $\mu_{\bar{A}}(u)$  为元素  $u$  隶属于  $\bar{A}$  的程度, 简称  $u$  对  $\bar{A}$  的隶属度。模糊子集是一个论域上的有序对集合。

$$\bar{A} = \{u | \mu_{\bar{A}}(u)\} \quad \mu_{\bar{A}}(u) \rightarrow [0, 1] \quad \forall u \in U \quad (9)$$

论域是指被讨论的全体对象, 亦称为全集或空间。论域中的元素总是分明的, 只有子集才是模糊的, 因此通常模糊集合是指模糊子集的集合, 简称模糊集。这里, 将复原图像的像素点看作模糊集中的元素。

设  $X, Y$  为普通集合, 称  $X \times Y$  的模糊集  $\bar{R}$  为从  $X$  到  $Y$  的模糊关系,  $\mu_{\bar{R}}$  称为模糊集  $\bar{R}$  的隶属函数,  $\mu_{\bar{R}}(x, y)$  为  $(x, y)$  隶属于模糊关系  $\bar{R}$  的程度, 即  $(x, y)$  对于  $\bar{R}$  的隶属度。模糊集是用隶属函数来描述的, 要用模糊集理论来解决实际问题, 首先要确定隶属函数。这里采用模糊分布中的“正态型”来定义隶属函数。

以待进行模糊加权均值滤波处理的复原图像的某像素点为中心, 从其邻域内取  $m \times n$  (通常  $m=n=3$ ) 的点作为一个模糊集  $A$  中的元素, 其中各点根据其灰度值  $gray_{g,k}$  不同有不同的隶属度  $\mu_{g,k}$ , 其隶属度由模糊集的隶属函数  $\mu(gray_{g,k})$  映射而得, 对于“正态型”的隶属函数可表示为:

$$\mu(gray_{g,k}) = e^{-\left(\frac{gray_{g,k} - gray_0}{b}\right)^2} \quad (b > 0) \quad (10)$$

式中,  $gray_0$  为初始滤波输出,  $b$  为尺度参数。有关参数的确定和求取见后面实验仿真部分。

通过模糊函数的隶属函数求得对应于该像素点  $f(i, j)$  邻域内各点  $f(g, k)$  ( $-m \leq g \leq i+m, -n \leq k \leq j+n$ ) 的隶属度  $\mu_{g,k}$  后, 由模糊变换的合成运算进一步通过下式来求取对应于各像素点的权值:

$$W_{g,k} = \frac{\mu_{g,k}}{\sum_{g=i-m}^{i+m} \sum_{k=j-n}^{j+n} \mu_{g,k}} \quad (11)$$

最后, 通过加权平均得到像素点  $f(i, j)$  的滤波输出:

$$gray_1 = \sum_{g=i-1}^{i+1} \sum_{k=j-1}^{j+1} W_{g,k} gray_{g,k} \quad (12)$$

## 3 算法描述

在恢复过程中, 为了使前面复原的像素点的噪声及误差

不对后续处理的像素造成影响,避免噪声分量不断扩大,需要在恢复运算的同时,运用滤波算法实时地对前面像素点进行滤波处理,具体实现算法如下:

步骤1 假设  $g(x,y)$  为零边界模糊图像,则将模糊图像每一行的前  $N$  个像素点  $g(i,0-N),g(i,0-N+1),\dots,g(i,0-1)$  的值初始化为 0;

步骤2 利用式(8)计算得到复原点  $f(x,y)$  的值;

步骤3 利用模糊加权均值滤波算法对  $f(i-1,j-1)$ ,  $0<i<width;0<j<height$ (width,height 分别为图像的宽和高)进行滤波处理:

步骤3.1 为了更好地利用邻域的相关性,根据像素点在像平面位置关系选择  $3\times 3$  大小的区域为滤波窗口,设滤波输出初值  $gray_0$  为对应于待滤波处理的还原点  $f(i-1,j-1)$  的邻域各点  $f(g,k)$  ( $i-2\leq g\leq i,j-2\leq k\leq j$ ) 的  $gray_{g,k}$  值的均值。将这个初值代入式(10)导出领域内各像素点的隶属度  $\mu(gray_{g,k})$ ;

步骤3.2 对由步骤3.1导出的模糊隶属度  $\mu(gray_{g,k})$ ,利用式(11)求出对应于各点  $f(g,k)$  的权值  $W_{g,k}$ ,并利用式(12)对  $gray_{i-1,j-1}$  值进行加权平均,从而得到新的滤波输出  $gray_1$ ;

步骤3.3 比较  $gray_0$  与  $gray_1$  的差值是否小于预定的阈值  $\epsilon$ ,若小于该阈值,则迭代结束,输出为  $gray_1$ ,转到步骤4;否则回到步骤3.1,将  $gray_1$  作为滤波输出初值代入式(10)导出新的模糊隶属度  $\mu(gray_{g,k})$ ;

步骤4 移动到下一个像素点(即  $j$  的加1操作),转到步骤2,重复上述过程,直至整幅图像恢复完毕。

#### 4 仿真结果及分析

本文使用 MS VC++ 编程工具实现本文算法,在 Intel Pentium TM 2.0 GHz CPU,2GB 内存的计算机上运行。为了检验本文算法的有效性,对匀速直线运动模糊图像的退化及恢复过程进行了仿真,选择的原图为  $640\times 480$  像素的清晰灰度图(见图1(a)),仿真实验的具体过程如下:

1) 根据式(4)、式(5)对图4(a)进行匀速直线运动模糊的退化仿真,设目标在光学传感器总曝光时间  $T$  内移动  $N=40$  个像素点,即  $N=vT=40$ , $v$  恒定,得到模糊图像(见图1(b))。

2) 初始化复原图像  $f(n)$  前  $N$  个点的值(本文假设图像为 0 边界图像,因此可设其灰度值为 0)。

3) 利用式(8)计算得到加入滤波算子前的复原图像(见图1(c))。

4) 利用本文提出的结合加权滤波算子的恢复算法对图1(b)进行恢复处理,得到如图1(d)所示的效果。

从仿真结果来看,本文的算法能正确、有效地恢复由于匀速直线运动所造成的图像退化,复原图像轮廓清晰,对比明显,虽然与原图相比质量有所下降,但相对模糊图像及结合模糊加权滤波算子前的复原图像,图像质量有了很大提升,结果显示,加入的加权滤波算子能有效抑制复原过程中产生的噪声/误差及噪声累加现象;由于本文核心算法只需要进行两次累加乘法和一次加法,因此,恢复速度较快,运动时间一般小于 0.1 秒,接近实时要求。

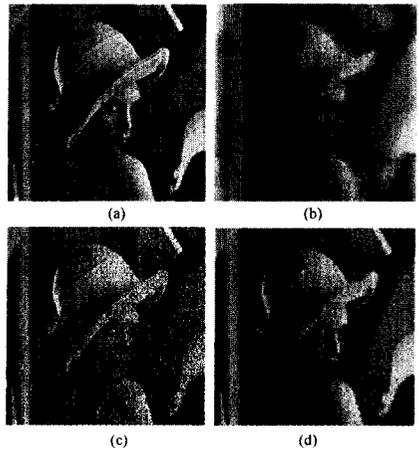


图1 匀速运动模糊图像的退化及恢复( $N=40$ )

为了进一步从客观方面评价图像恢复算法,本文用改善信噪比(ISNR)作为复原图像的质量改善的客观评价指标。

设  $f(x,y),g(x,y),\hat{f}(x,y)$  分别为原始图像、运动模糊图像及复原图像。ISNR 由下式计算:

$$ISNR=10\log\left\{\frac{\sum_{x,y}||f(x,y)-g(x,y)||^2}{\sum_{x,y}||f(x,y)-\hat{f}(x,y)||^2}\right\} \quad (13)$$

分别用本文算法及维纳滤波法对  $N=vT=15$ (见图3(a)), $N=25$ (见图3(d)), $N=35$ (见图3(g)), $N=50$ (见图3(j))的模糊图像进行恢复计算,恢复结果分别如图3所示,图3(b),(e),(h),(k)为本文算法的复原结果,图3(c),(f),(i),(l)为维纳滤波法的复原结果。利用式(13)计算复原图像的 ISNR 值,结果如图2所示。

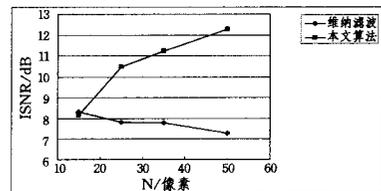


图2 复原图像 ISNR 折线图

从复原图像及图2折线图中可以看出:

(1) 本文算法具有较强的稳健性,对取不同  $N$  值的模糊图像都能有较好的恢复效果。

(2) 复原图像较模糊图像的质量有了明显提升,ISNR 值均大于 8dB,当  $N$  较小时,维纳滤波效果略好于本文算法,但当  $N$  值持续增大时,本文算法的图像质量改善效果明显优于维纳滤波法;对于维纳滤波法,由于其为一类线性滤波器,因此,复原图像的质量随  $N$  越大,ISNR 值有所下降,而本文算法恰恰相反, $N$  越大,图像改善效果越明显。

(3) 随着  $N$  的增加,复原图像的质量有所下降,这可能是由于在计算过程中,数字舍入误差不断迭代累积所致。

(4) 复原图像左边区域较右边区域质量好,这是由于恢复模型本身“迭代特性”所决定的,前面像素点产生的噪声会对后续像素点的恢复带来一定的影响,本文在恢复过程中加入了模糊加权滤波算子,复原图像质量有了很大提高,但仍然存在轻微的噪声及噪声累积现象,而维纳滤波处理后,噪声的

(下转第 294 页)

**结束语** 作为 Petri 网的一种结构对象,信标与 Petri 网的死锁密切相关。在一个 Petri 网中,未被充分标记的信标意味着在系统进程推进的过程中会产生死锁,从而使系统丧失活性,进而需要对其进行控制。本文在引入 max'-controlled 信标的基础上给出约束更小的控制器设计方法。

结合前人研究的基础提出了一种针对 S'R 网的死锁预防策略。首先通过 MIP 检测一个网系统是否活。如果系统不活,则对其进行控制,否则不进行处理。对系统进行控制时,需要求解所有的严格极小信标,然后分别进行控制。由于不把输出弧前移,因此可以得到许可行为较多的活性 Petri 控制器。

### 参考文献

[1] Murata T. Petri nets: properties, analysis, and applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580

[2] Giua A, Seatzu C. Liveness enforcing supervisors for railway networks using ES<sup>2</sup>PR Petri nets[C]// Proceedings 6th International Workshop on Discrete Event Systems, WODES' 02. USA: IEEE Computer Society, 2002: 55-60

[3] Park J, Reveliotis S A. Deadlock avoidance in sequential resource allocation systems with multiple resource acquisitions and flexible routings[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2001, 46(10): 1572-1583

[4] Li Zhiwu, Zhou Mengchu. Elementary siphons of Petri nets and their application to deadlock prevention for flexible manufactu-

ring systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2004, 34(1): 38-51

[5] Barkaoui K, Pradat-Peyre J F. On liveness and controlled siphons in Petri nets[C]// Proceedings 17th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets. LNCS 1091. London: Springer-Verlag, 1996: 57-72

[6] Abdallah I B, ElMaraghy H A. Deadlock prevention and avoidance in FMS: a Petri net based approach[J]. International Journal Manufacturing Technology, 1998, 14(10): 704-715

[7] Li Zhiwu, Zhang Jian, Zhao Mi. Liveness-enforcing supervisor design for a class of generalized Petri net models of flexible manufacturing systems[J]. IET Control Theory and Applications, 2007, 1(4): 955-967

[8] Li Zhiwu, Zhou Mengchu. Control of elementary and dependent siphons in Petri nets and their application [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2008, 38(1): 133-148

[9] 闫明明,李志武,钟春富. S'PR 网的一种死锁预防策略[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(2): 330-333

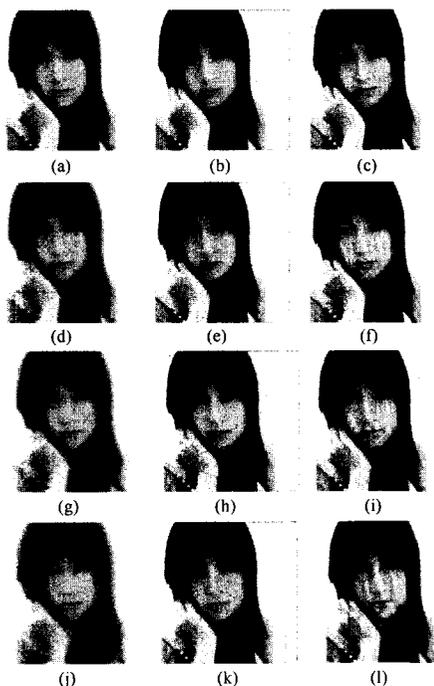
[10] 王安荣,李志武. 基本信标计算的一种快速算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(4): 632-638

[11] Li Zhiwu, Zhou Mengchu, Wu Naiqi. A survey and comparison of Petri net-based deadlock prevention policies for flexible manufacturing systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2008, 38(2): 173-188

[12] Zhong Chunfu, Li Zhiwu. On self-liveness of a class of Petri net models for flexible manufacturing systems[J] IET Control Theory and Application, 2009 (has been accepted)

(上接第 262 页)

影响在宏观上是具有一定均匀特征的。



(a), (d), (g), (j) 分别为  $N$  等于 15, 25, 35, 50 时的模糊图像; (b), (e), (h), (k) 分别为  $N=15, 25, 35, 50$  时本文算法的恢复结果; (c), (f), (i), (l) 分别为  $N=15, 25, 35, 50$  时维纳滤波的恢复结果

图 3 模糊图像恢复结果

**结束语** 本文针对匀速直线运动造成的图像模糊,提出了基于 Z 变换及模糊加权均值滤波算法的运动模糊图像恢复算法,并对算法进行了严格的数学推导及描述。该算法把 Z 变换引入到模糊图像恢复中来;把差分方程转化为简单的代

数方程求解,使恢复问题得到最大程度的简化。针对算法容易出现噪声累积现象,在恢复过程中加入模糊加权滤波算子,以进一步改善复原图像的质量。最后的仿真结果验证了本文算法的正确性、有效性及快速性;与维纳滤波恢复算法进行的比较结果表明了本文算法的稳健性和优越性。运动模糊是运动图像采集过程中一种常见现象,因此,算法在图像处理、运动目标检测等相关领域有着重要的理论及实际应用价值。

### 参考文献

[1] 韩超阳. 旋转运动模糊图像复原及电子稳像技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008, 16-41

[2] 洪汉玉, 张天序. 非零边界旋转运动模糊图像的恢复算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(3): 265-274

[3] 孟庆浩, 周荣彪. 复合帧运动模糊图像复原方法研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(13): 187-189

[4] 邱慧, 于起峰. 基于 Z 变换的匀速直线运动模糊图像的快速恢复[J]. 光学技术, 2005, 31(6): 884-889

[5] 邱慧, 丁晓华, 于起峰. 基于 Z 变换匀速旋转运动模糊图像的快速恢复[J]. 光电工程, 2006, 33(4): 89-92

[6] Li J, Li M H, Zheng Y, et al. Fast measurement of human face and disposal of measured points[C]// Proceeding of First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, IMSCCS'06. IEEE Computer Society, 2006(1): 796-798

[7] 陈大力, 薛定宇, 高道祥. 图像混合噪声的模糊加权均值滤波算法[J]. 仿真系统仿真学报, 2007, 19(3): 527-530

[8] 明英, 蒋晶珏. 基于柯西分布的视频图像序列背景建模和运动目标检测[J]. 光学学报, 2008, 28(3): 587-592

[9] Cai J, Yang J S, Ding R T. Fuzzy weighted average filter [J]. Chinese Journal of image and graphics, 2000, 5(1): 52-56

[10] Li J, Chen Z C. Research on the Fuzzy weighted average filter algorithm in surface measurement[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 16: 65-66, 103