

文章编号: 1671-8860(2004)09-0796-04

文献标识码: A

基于卡尔曼运动模型模糊图像恢复技术研究

胡庆武^{1,2} 李清泉²

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 提出了一种基于卡尔曼运动模型进行运动模糊图像退化过程分析的方法, 设计了基于卡尔曼运动质量退化模型的运动模糊图像恢复算法, 该方法逼近实际的运动模型。通过对火车称重系统中的模糊影像恢复实验, 表明了该恢复技术的有效性。

关键词: 运动模糊; 卡尔曼模型; 图像恢复

中图法分类号: TP751

采集图像时由于采集设备与目标发生相对运动而产生的图像运动模糊, 是各种目标识别系统首要解决的问题。如在电子收费系统、电子警察及车辆诱导系统中, 车牌的准确识别是一个关键的问题, 而影响识别准确性的一个重要因素就是图像的清晰度。在这些场合中, 由于车速较快, 使得车辆与数码相机之间存在着由于相对运动而产生的图像模糊。车牌的识别可先对车牌准确定位, 然后对牌照区域图像进行模糊恢复, 在恢复图像的基础上进一步进行目标特征的提取、分割及识别, 以提高识别的准确率和可靠性。在影像恢复处理中, 一般将影像恢复问题看作已知退化影像、有关点扩展函数的先验知识^[1] 和有关噪声分量的一些统计特性, 对原始影像通过某种数学模型作估值, 使估算的影像尽可能接近真实的影像^[2]。许多人根据不同的物理模型, 采用了不同的退化模型、处理技巧和估计准则, 从而导出了不同的恢复方法。传统算法依赖模糊系数矩阵的准确估计, 计算量大且精度很难保证, 易陷入局部收敛点^[1, 3, 4]。

1 卡尔曼运动模糊过程分析

对运动模糊的图像进行恢复首先要建立图像的退化模型^[2, 4]。通常由于图像降质原因很多, 退化机理比较复杂, 因此, 要提供一个完善的数学

模型非常困难。文献[5]用匀速运动来估计运动模糊图像的退化过程, 通过目标运动速度估计确定模糊长度, 以模糊状态向量对图像进行滤波, 对运动模糊图像质量有一定改善。实际模糊图像成像过程与成像目标的运动有关, 是一个复杂的非平稳运动过程, 上述基于匀速直线运动的模糊图像退化模型在解决非匀速运动模糊图像恢复时存在一定的局限性。当对恢复要求很高时, 必须采用非线性和位移变的精确模型。

卡尔曼运动模型是一种较好的非平稳运动过程估计, 以均方误差最小并采用自回归运动模型对物体的运动状态及参数进行估计, 在各种运动分析、去噪、拟合及平滑中有很广泛的应用, 适合时变随机运动过程的模型估计^[6]。对模糊图像进行基于卡尔曼运动模糊过程模型的基本原理为运动模糊的分解。引起图像模糊的运动矢量可以认为是水平和垂直两个方向上一维运动的合成。考虑到实际的图像恢复处理流程, 可分别对模糊图像进行行方向和列方向的恢复处理操作, 以达到任意运动矢量模糊图像的恢复。在实际的运动模糊中, 模糊对象相对于成像装置的运动与行方向平行或夹角很小, 在垂直方向的运动分量可以忽略不计。

针对一幅 $M \times N$ 图像的某一行 j , 将引起图像模糊的目标随机运动过程分解为一个平稳运动矢量和运动噪声矢量, 设模糊长度为 T , 则目标卡

尔曼运动方程为:

$$\begin{aligned} f(k, j) &= Af(k-1, j) + v(k-1, j), \\ k &= 0, 1, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $f(k) = [f(k-T-1, j), f(k-T, j), \dots, f(k, j)]$; $v(k)$ 为运动噪声估计, 一般将其视为一阶自回归过程, 为彼此独立的白噪声序列; $A_{M \times N}$ 为模糊系统矩阵, 一般为对角阵, 对角线上元素一般可取模糊长度的倒数。将式(1)代入到图像降值模型 $g(k, j) = Hf(k, j) + n(k, j)$ 中, 可得:

$$g(k, j) = HAf(k-1, j) + Hv(k-1, j) + n(k, j), \quad k = 0, 1, \dots, M, j = 0, 1, \dots, N \quad (2)$$

式中, $H_{M \times M}$ 为平稳运动估计的传输模型, 即点扩散函数矩阵; $g(k)$ 为观测值, 即运动模糊图像; $f(k)$ 为原始图像, 对 $f(k)$ 的平稳估计可采用匀速直线运动退化模型; 在匀速直线运动模糊图像恢复的基础上, 对 $v(k)$ 回归分析的最佳估计是卡尔曼运动过程分析用于模糊图像恢复的主要途径^[7]。

2 基于卡尔曼运动的模糊图像恢复

图像恢复一般是在水平和垂直两个方向上进行的, 因为对任意方向的运动模糊都可以分解成水平和垂直两个方向的模糊过程, 因此, 只需推导水平或垂直方向上的恢复模型(本文以水平方向的恢复为例)。直接按照上述卡尔曼退化过程求取其逆过程即恢复模型的状态空间表达式比较困难。卡尔曼恢复一般采用递推实现。下面以一组方程构成一行模糊图像的卡尔曼恢复, 并给出其递推公式。

由式(1)、式(2)可知, 恢复图像估计方程为:

$$\begin{aligned} f(k) &= Af(k-1) + H^{-1}[g(k) - HAf(k-1)] \\ &= f(k-1) + K(k)e(k), \quad k = 0, 1, \dots \end{aligned} \quad (3)$$

式中, $e(k)$ 为预测值的修正量, 即实际值与预测值的残差。根据实际图像模糊情况, 一般对 $e(k)$ 要加权, 其加权因子称为滤波增益 $K(k)$, 为点扩散函数矩阵 H 逆阵; $K_{M \times M}(k)$ 越大, 表示降质图像在滤波估计中的作用越大。一般对滤波增益 $K(k)$ 通过递推方式求取 H^{-1} , 其递推方程为:

$$\begin{aligned} K(k) &= P_1(k)H^T[H\mathbf{P}_1(k)H^T + R(k)]^{-1} \\ P_1(k) &= AP(k-1) + Q(k-1) \\ P(k) &= P_1(k) + K(k)HP_1(k) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $Q_{M \times M}(k)$ 为运动噪声 $v(k)$ 的协方差矩阵, 考虑到行模糊过程中任一行噪声可认为是彼此独立、满足一阶自回归的白噪声序列, $Q_{M \times M}(k)$ 是一对角矩阵, 其对角线上的元素即为噪声向量的方

差, 实际计算时, 一般取降质图像方差; $R_{M \times M}(k)$ 为系统噪声 n 的协方差矩阵, 其对角线上的元素一般取预设定的噪声方差倒数, 具体计算时可取单位阵。对滤波增益 $K(k)$ 的求解通过递推方式进行, 通过滤波增益 $K(k)$ 对修正量加权, 以保证残差在可控制范围, 从而实现对非平稳过程的运动状态的最优估计。

由式(4)可知, 恢复图像估计值 $f(k)$ 由模糊长度内 T 个像素预测值 $Af(k-1)$ 与预测值的修正量 $e(k)$ 两部分构成。具体解求预测值 $Af(k-1)$ 可用匀速直线模糊恢复结果近似, 以减少运算量。具体实现步骤如下。

- 1) 采用文献[5]匀速直线模糊恢复方法计算 $f(k)$ 的预测值 $Af(k-1)$;
- 2) 利用降质系统的 H 阵与 $f(k)$ 的预测值 $Af(k-1)$ 相乘, 得到实际模糊图像 $g(k)$ 的预测值 $HAf(k-1)$, 然后得到残差 $e(k) = g(k) - HAf(k-1)$; 最后用滤波增益乘以 $e(k)$, 得到 $f(k)$ 的修正量;
- 3) 对 $f(k)$ 的预测值 $Af(k-1)$ 加上其修正量, 得到模糊图像的卡尔曼滤波恢复的估计值 $f(k)$;
- 4) 对模糊图像的卡尔曼滤波恢复的估计值 $f(k)$ 作中值滤波处理, 进一步改善视觉效果。

3 实验分析

传统的称重系统通过人来记录每一节车皮的编号和自重信息, 然后输入到自动衡器系统获取货车载货重量。由于火车行驶速度较快, 因此此模式劳动强度大、可靠性差, 由于作业员的疏忽或其他因素, 容易出现供货商与买主之间的经济纠纷。一种可靠的方式就是通过 CCD 快速采集车皮的编号和自重图像, 通过对图像的识别以获取编号和自重信息, 联合自动衡器系统, 可得到车皮毛重信息, 从而实现车号(货主)、载货量的准确采集。在某大型钢厂的衡器车间, 通过两台由红外传感器控制的 CCD 相机自动采集编号和自重图像。在固定的快门下, 火车在一定的行驶速度范围内可以取得高质量的图像。如果货车行驶速度太快, 就会出现运动模糊图像, 影响编号和自重信息识别。分别对一组用于火车称重系统中对火车车厢编号及自重信息识别模块由于运动造成的模糊图像进行逆滤波恢复处理、基于匀速直线运动的图像恢复、基于卡尔曼运动的图像恢复, 图 1、图 2 分别为恢复前后各种恢复目视效果的比较。

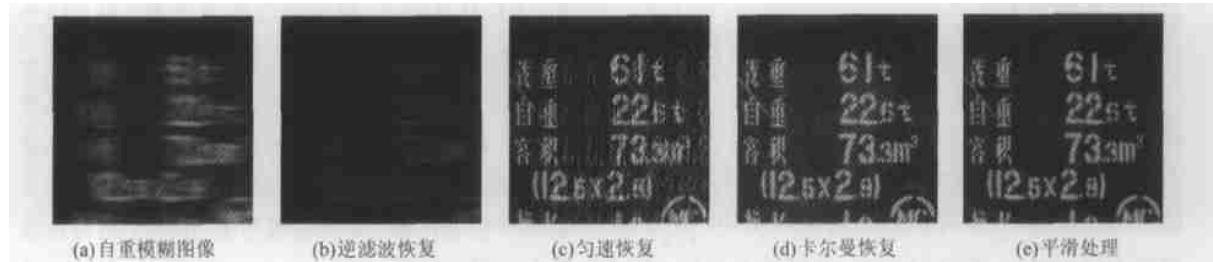


图1 自重模糊图像恢复目视比较

Fig. 1 View Comparison Between Blur Self-weight Images with Different Restoration Algorithms



图2 编号模糊图像恢复目视比较

Fig. 2 View Comparison Between Blur Number Images with Different Restoration Algorithms

由图1、图2可知,对运动模糊图像直接采取匀速滤波恢复处理效果不明显,有较为明显的条带噪声,而卡尔曼恢复处理取得了较好的目视效果,恢复后图像中的编号和自重信息可清楚地判读。但由于图像处理中有较大的舍入误差,经过卡尔曼恢复处理后的图像颗粒度较大,但经过简单平滑处理后,目视效果更好。均方梯度和清晰度常用来表示图像质量客观评价参数^[8],均方梯度越大,目视效果越好;反之,视觉效果也就越差。适应度函数值反映影像的明亮程度和对比度,其值越大,清晰度越高,影像越清晰。表1为采用不同恢复算法对运动模糊的车皮编号和自重图像进行恢复前后质量的对比结果。

由表1可知,卡尔曼运动图像恢复后质量参数有了明显的提高,特别是均方梯度分别提高79.47和69.38,表明该恢复算法适合运动模糊图像的恢复处理。

影响模糊图像恢复效果的一个重要参数为模糊长度,选择不同的模糊长度直接影响到最佳恢复效果。图3分别为采取不同的模糊长度恢复图像的目视效果比较。模糊长度与货车运行的速度呈线性关系,模糊长度越符合实际速度,恢复的效果越好。由图3可知,当模糊长度取到60时,恢复效果最好。表2给出了对上述图像采取不同的模糊长度进行卡尔曼恢复处理的结果。

表1 不同恢复算法质量比较

Tab. 1 Comparison Between Image Quality by Different Restoration Algorithms

	图像1					图像2				
	模糊图像	逆滤波	匀速恢复	卡尔曼恢复	平滑处理	模糊图像	逆滤波	匀速恢复	卡尔曼恢复	平滑处理
均方梯度	8.18	7.92	67.63	87.65	24.08	1.44	13.61	54.12	70.82	60.02
清晰度	0.24	0.26	0.27	0.29	0.35	0.12	0.14	0.18	0.28	0.30

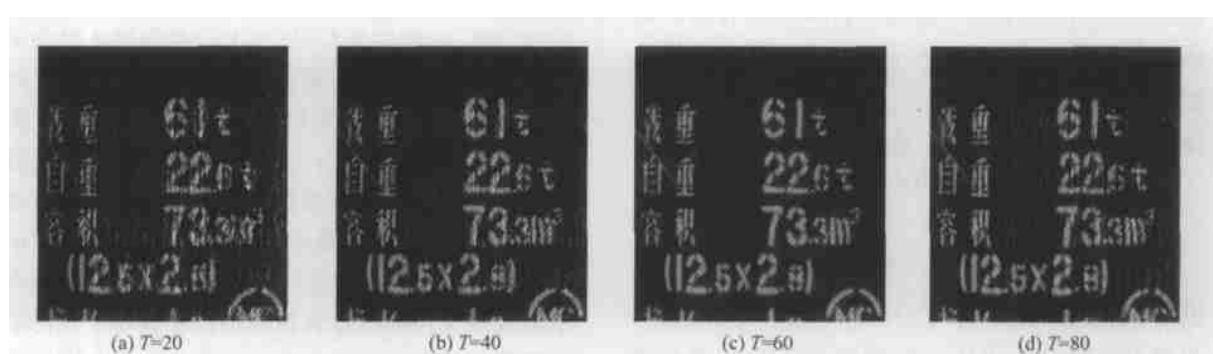


图3 不同模糊长度卡尔曼恢复目视比较

Fig. 3 View Comparison Between Image by Kalman Restoration with Different Blur Lengths

表2 不同模糊长度恢复算法质量比较

Tab. 2 Comparison Between Image Quality by Kalman Restoration Algorithms with Different Blur Lengths

	$T=20$	$T=40$	$T=60$	$T=80$
均方梯度	57.92	65.52	87.65	74.08
清晰度	0.26	0.27	0.29	0.26

表2中不同模糊长度下恢复图像的质量数据也表明,当模糊长度取到60时,恢复质量最好。需要指出的是,本文对模糊长度的估计为经验值,在本实验数据获取系统中,可以采用一种速度传感器来获取采集图像时火车的速度,以此来对模糊长度加以确定。

参 考 文 献

- 1 周松涛,宣家斌.基于景物灰度分布特征的影像恢复技术.武汉测绘科技大学学报,1999, 24(3): 230~235
- 2 刘政凯,衢建雄.数字图像恢复与重建.合肥:中国科

学技术大学出版社,1998

- 3 陈家新.使用遗传算法对影像进行恢复.洛阳工学院学报,2000, 21(2): 54~57
- 4 黄砚玲.运动模糊图像的递推恢复方法.中南工业大学学报,1999(2): 212~213
- 5 王旭辉,郭光亚.匀速运动模糊图像的快速恢复.微机应用,2000(5): 5~7
- 6 Bienond J, Rieske J, Geibrands J J. Fast Kalman Filter for Images Degraded by Both Blur and Noise. IEEE Trans. Acoustic Speech Signal Proc. 1983, 31(5): 1 248~1 256
- 7 于亦凡,丁田夫.水下模糊图像维纳滤波和卡尔曼滤波恢复算法研究.青岛海洋大学学报,2002(3): 482~488
- 8 郑宏.遗传算法在影像处理与分析中应用的研究:[博士论文].武汉:武汉测绘科技大学,2000

第一作者简介:胡庆武,讲师,博士。研究方向为数字图像恢复、图像视觉和图像质量评定等。

E-mail: qwhu@263.net

Blur Image Restoration Based on Kalman Motion Model

HU Qingwu^{1,2} LI Qingquan²

(1) School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2) Research and Development Center of Spatial Information and Digital Engineering, Wuhan University,
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper presents a method for image quality descending analysis to the motion blur images using the Kalman motion model. The image restoration algorithm based on the Kalman motion model is designed for the motion blur images restoration processing. The detail restoration steps based on the Kalman model are designed, and the corresponding quality assessment methods are selected to evaluate the restoration quality. The restoration results of the blur freight car images in the freight car weighting system show that the blur images get high quality and the restoration algorithm is effective.

Key words: motion model; Kalman model; image restoration

About the first author: HU Qingwu, lecturer, Ph. D. His research interest includes digital image restoration, image vision and image quality assessment.

E-mail: qwhu@263.net

(责任编辑: 洪远)