

基于强度和梯度先验的 L_0 正则化模糊 QR 码识别

杜菲, 曾台英

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 研究因机械抖动, 拍摄器材与图像存在一定距离或相对运动而产生运动模糊、散焦模糊等情况下的模糊 QR 码图像识别。**方法** 采用基于强度和梯度先验的 L_0 正则化方法对模糊 QR 图像进行去模糊。优化模糊核尺寸的人为预估问题, 提高程序效率。对 1 至 15 类常用 QR 码图像进行模糊仿真, 再通过盲提取获得模糊核, 用峰值信噪比 PSNR 值衡量该方法在 QR 码图像去模糊的复原精度。**结果** PSNR 值随着 QR 码图像复杂度的增加而相对减少, 但因 QR 码存在一定的容错率, 在 PSNR 值为 13 以上且噪声、振铃小的情况下就能够被识别。文中算法相较于其他算法在型号较高的模糊 QR 码恢复方面识别率更高。**结论** 基于强度和梯度先验的 L_0 正则化方法对模糊 QR 码的恢复效果显著, 且不是只针对某一类模糊 QR 码图像, 对于多种类型的模糊 QR 码图像恢复都能有很好的效果。

关键词: QR 码; 正则化; 去模糊; 识别

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)03-0150-05

Recognition of Fuzzy L_0 -Regularized QR Code Based on Intensity and Gradient Priori

DU Fei, ZENG Tai-ying

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to study the recognition of fuzzy QR code images caused by the motion blur and defocus blur of mechanical vibration, and the certain distance or relative motion between photographic device and the image. The L_0 -regularized method based on intensity and gradient priori was used to deblur the fuzzy QR code images. The problem of artificial estimation of fuzzy kernel size was optimized and the program efficiency was improved. Blurring simulation for 1 to 15 kinds of common QR code images was carried out, and then blurring kernel was obtained by blind extraction. PSNR value was used to measure the restoration precision of the method in deblurring QR code images. The PSNR value was relatively decreased with the increase of the complexity of the QR code images; however, because the QR code had a certain fault tolerance rate, it could be recognized when the PSNR value was above 13 and the ringing & noise were small. Compared with other algorithms, this algorithm had a higher recognition rate in restoring the fuzzy QR codes of higher model. The L_0 -regularized method based on intensity and gradient priori can restore the fuzzy QR codes remarkably, not just for certain type, but for a variety of fuzzy QR code images.

KEY WORDS: QR code; regularized; deblur; recognition

QR 码(Quick Response code)又称快速响应矩阵码, 因其信息容量大、编码范围广、容错能力强、加密性能好等优点, 逐步替代已有的一维条形码, 应用于生产管理、物流管理、交通运输、医疗保健、安检系统等领域^[1]。目前基于数字图像处理的 QR 码识别

主要针对静止或者图像质量较高的 QR 码图像^[2-5]。在生产流水线上的商品包装 QR 码识别中, 因机械抖动、拍摄器材与 QR 码图像存在一定距离或相对运动, 往往获取的 QR 码图像存在运动模糊、散焦模糊等问题。此类 QR 码图像采用一般图像处理方法不能有效

收稿日期: 2016-08-01

基金项目: 中科院上海光学精密机械研究所重点实验室基金 (3A13309013)

作者简介: 杜菲 (1991—), 女, 上海理工大学硕士生, 主攻数字图像处理。

通讯作者: 曾台英 (1978—), 女, 博士, 上海理工大学讲师、硕导, 主要研究方向为包装印刷设备及其控制检测技术。

地区分其内容与背景,因此处理以上模糊问题成为了识别该类 QR 码的关键。

由于模糊图像的普遍存在,基于图像处理的去模糊方法已成为图像复原的研究热点。近年来,对于单幅自然图像采用例如 Schuler 等^[6]的学习方法和 Xu 等^[7]的显著边缘模糊核估计方法等进行去模糊都取得了很大的进步。尽管很多方法提出可以有效地去模糊,但对于文本图像去模糊的效果却并不理想,原因是文本图像属于双色调图像,这类图像不遵循自然图像的重尾效应^[8]。Chen 等^[9]提出了一种基于图像强度优先的去模糊方法,该方法针对模糊程度较小或文本内容较少的图像还原效果显著,而对于模糊程度较大或文本内容密集的图像还原效果一般。Pan^[10]等提出了一种新的基于强度和梯度先验的 L_0 正则化文本图像去模糊,介绍了一种有效的基于半二次分裂的优化算法,该方法保证了每个子问题都有一个封闭的解以及确保其能快速收敛,对于多种文本图像去模糊有良好的效果。王超^[11]等将其算法运用在模糊车牌识别领

域,并针对车牌图像的特征对该算法进行优化。

文中基于 QR 码图像和文本图像的相似特征,对比清晰 QR 码图像与模糊 QR 码图像在强度和梯度等方面的差异,在 Pan 的方法基础上对 QR 码进行去模糊,并提出了对模糊核预估尺寸的优化算法,实现了模糊 QR 码的快速准确识别。

1 模糊 QR 码图像处理

1.1 QR 码强度和梯度特征

QR 码图像和文本图像均属于双色调图像,图像的内容部分和背景部分颜色对比强烈且内容部分的颜色基本一致,因此针对文本图像的去模糊方法也同样适合 QR 码图像。在 QR 码图像的强度方面,QR 码内容部分颜色与背景颜色集中于黑白两色,即强度值以 0 和 255 居多;在 QR 码图像的梯度方面,QR 码内容部分的颜色一致,即内容部分的每个像素梯度值一致,均接近于 0。其强度和梯度统计见图 1。

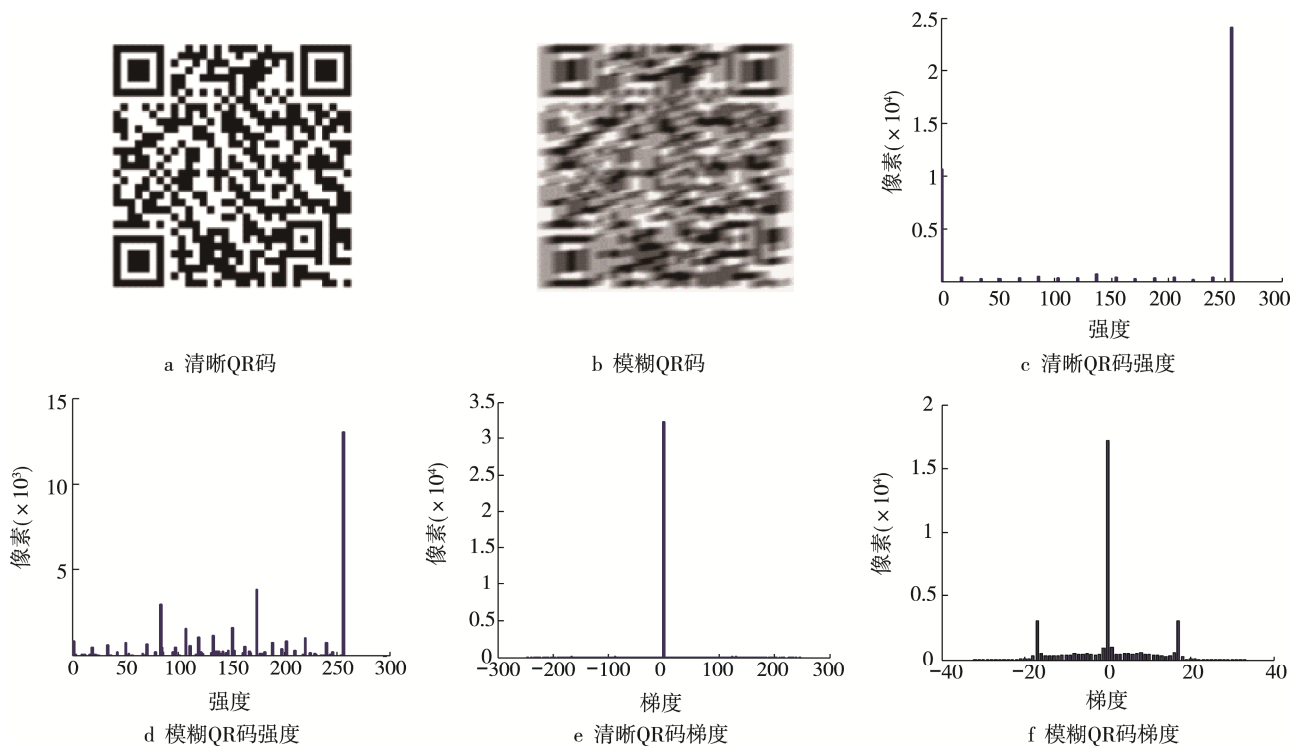


图 1 QR 码图像统计
Fig.1 Statistics of QR code images

图 1a 为清晰 QR 码图像,图 1b 为模糊 QR 码图像;其中图 1c, e 分别是图 1a 的强度直方图和水平方向梯度直方图;图 1d, f 分别是图 1b 的强度直方图和水平方向梯度直方图。对比图 1c, d 可知,清晰 QR 码图像强度值集中于 0 和 255,而模糊 QR 码图像在其他强度值上则有较多的分布;对比图 1e, f 可知,清晰 QR 码图像梯度值集中于 0,而模糊 QR 码图像的梯度直方图则比清晰 QR 码图像要稠密很多。由上

对比可知,对模糊图像的强度和梯度有效地稀疏表示是解决模糊 QR 码去模糊问题的关键步骤。

1.2 基于强度和梯度先验的 L_0 正则化 QR 码图像去模糊

对于一 QR 码图像 x , 定义其强度稀疏度为:

$$P_1(x) = \|x\|_0 \quad (1)$$

而其稀疏度,即先验条件,可表示为强度稀疏度

和梯度稀疏度之和:

$$P(x) = \sigma P_1(x) + P_1(\nabla x) \quad (2)$$

式中: σ 为权重; $P_1(\nabla x)$ 为梯度稀疏度。

梯度稀疏度的最小化问题文中采用 L_0 正则化方法实现, 其公式为:

$$\min_{x,k} \|x \otimes k - y\|_2^2 + \gamma \|k\|_2^2 + \lambda P(x) \quad (3)$$

式中: x 为清晰 QR 码图像; y 为模糊 QR 码图像; γ 和 λ 为正则化参数; k 为模糊核; $\otimes$ 为卷积运算符; $\|\cdot\|_2^2$ 为 L_2 正则约束项。

考虑到式(3)无法直接求解最小化值, 因此采用半二次分裂的优化方法。设 u 和 $g=(gh, gv)^T$ 为 2 个辅助变量与 $P(x)$ 中的 x 和 ∇x 对应, 那么式(3)可改写为:

$$\min_{x,u,g} \|x \otimes k - y\|_2^2 + \beta \|x - u\|_2^2 + \mu \|\nabla x - g\|_2^2 + \lambda(\sigma \|u\|_0 + \|g\|_0) \quad (4)$$

式中: β, μ 为正则化参数, 可固定 x, μ, g 中任意 2 个变量来交替求最小化。若初始化 x 的稀疏度为 0, 即 $P(x)=0$ 时, 在每一次的迭代中, 解得:

$$x = F^{-1} \left(\frac{F(k)F(y) + \beta F(\mu) + \mu FG}{\bar{F}(k)F(k) + \beta + \mu \bar{F}(\nabla)F(\nabla)} \right) \quad (5)$$

式中: F 为快速傅里叶变换; F^{-1} 为快速傅里叶逆变换; $FG = \bar{F}(\nabla h)F(gh) + \bar{F}(\nabla v)F(gv)$ 。根据 Xu^[12] 的算法可分别求解:

$$\mu = \begin{cases} x, |x|^2 \geq \frac{\lambda \sigma}{\beta} \\ 0, \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

$$g = \begin{cases} \nabla x, |\nabla x|^2 \geq \frac{x}{\mu} \\ 0, \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

以上步骤可通过输入 y 得到最优解 x , 再通过 x 预估模糊核 k , 经实验发现, 采用梯度域预估模糊核比一般像素值预估模糊核的效果好, 因此采用式(8)。

$$\min_k \|\nabla x \otimes k - \nabla y\|_2^2 + \gamma \|k\|_2^2 \quad (8)$$

1.3 求解 x, k

简单归纳已知模糊 QR 码图像 y 和预先估计模糊核尺寸 k (例 3×3), 解得 x, k 的步骤列于算法 1, 2。

1) 算法 1, 解 x 。输入: 模糊 QR 码图像 y 和预估模糊核 k 尺寸, 令 $x \leftarrow y, \beta \leftarrow 2\lambda\delta$ 。重复: 由式(6)得 $\mu, \mu \leftarrow 2\lambda$ 。重复: 由式(7)得 g , 由式(5)得 $x, \mu \leftarrow 2\mu$ 。 $\mu > \mu_{\max}, \beta \leftarrow 2\beta$ 至 $\beta > \beta_{\max}$ 。输出: 潜像 QR 码图像 x 。

2) 算法 2, 解 k 。输入: 模糊 QR 码图像 y , 从图像金字塔最底层初始化 k 。循环: $i=1 \rightarrow 5$, 由算法 1 得 x , 由式(8)得 $k, \lambda \leftarrow \max\{\lambda/1.1, 1e^{-4}\}$ 。输出: 模糊核 k 和潜像 QR 码图像 x 。

1.4 k 尺寸预估算法

以上算法中模糊核 k 尺寸的判断采用人为经验预估的方式。若将表 1, 2 的算法记为一个流程, 时间复杂度为 $O(I)$, 则人为经验预估的方式需 n 次带入 k 尺寸数值历遍此流程运算, 测试其还原结果是否为最佳清晰图像, 其时间复杂度为 $O(n)$ 。该方法耗时长且较难得到准确的数据。考虑到模糊图像的背景像素点具有很强的相关性, 文中采用对模糊图像进行微分自相关运算的方法^[13-14]来解决原算法中模糊核 k 尺寸的人为经验预估问题。以运动模糊为例, 一幅大小为 200×200 见图 2, 运动模糊核长度为 15 的模糊 QR 码图像的自相关图。

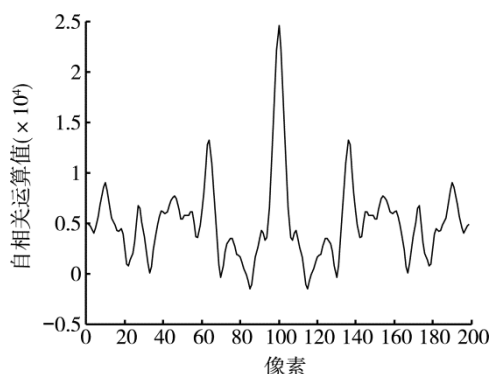


图 2 运动模糊 QR 码自相关图

Fig.2 Autocorrelation image of QR code with motion blur

在图 2 中, 自相关曲线上存在一对负峰值最大且对称的相关峰, 两相关峰间的间距为模糊核 k 尺寸的 2 倍^[13]。通过计算可得该图中两负峰值最大相关峰之间的间距为 30, 即模糊核尺寸为 15, 与上述设定的运动模糊 QR 码的模糊核尺寸 15 一致, 误差率为 0。该方法同样适合离焦模糊的模糊核尺寸估计, 若两最大负峰之间的间距为 N , 散交半径 $r=(N-3)/4$ ^[15]。对一幅大小为 200×200 , 散焦半径为 3 的模糊 QR 码图像作自相关图分析, 两最大负峰之间距离为 16, 即散焦半径为 3.25, 误差率为 8.33%, 小于 10%, 能较准确地判断模糊核尺寸。

由上算法可知, 微分自相关运算的方法能够快速准确地预估模糊核 k 尺寸, 避免经验预估 k 尺寸数值多次代入所增加的时间复杂度, 大大提高了工作效率。

2 Matlab 仿真实验与分析

实验对象为型号 1—15, 容错率为 $Q(25\%)$, 分辨率为 200×200 的 QR 码图像。实验环境为 Intel i5 处理器, CPU 2.60 GHz 和 matlab R2013b。对以上 15 类 QR 码图像分别进行长度 15, 角度 9° 的运动模糊和散焦半径为 3 的散焦模糊作为仿真的模糊图像, 共

计 30 幅模糊图像。采用概述中 Chen、Xu 等人算法和文中算法进行模糊 QR 码图像的复原,用峰值信噪比 PSNR 作为衡量上述方法对模糊 QR 码的复原程

度。对于上述实验方案,以型号为 4, 内容信息为“上海理工大学”的 QR 码图像为例,其不同算法结果见图 3。

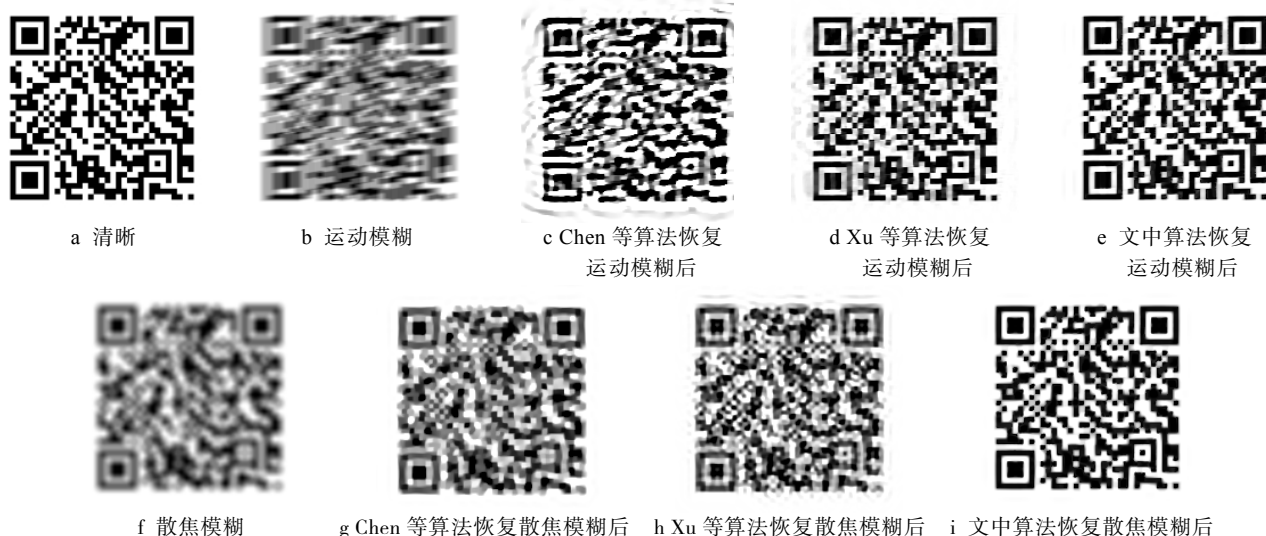


图 3 模糊 QR 码不同算法结果对比

Fig.3 Comparison of different algorithms of blur QR codes

图 3a 为原始清晰 QR 码图像,图 3b, f 分别为图 3a 的运动模糊图像和散焦模糊图像。图 3c—e 为各算法对图 3b 恢复后的清晰 QR 码图像;图 3g—i 为各算法对图 3f 恢复后的清晰 QR 码图像。由图 3 可明显看出文中算法对上述 2 种模糊类型 QR 码恢复出的清晰图像效果均为最优,而 Chen 等算法由于 QR 码内容部分密集、模糊程度大等原因恢复出来的清晰图像效果欠佳, Xu 等算法虽针对运动模糊 QR 码图像的恢复效果良好,但该算法对于散焦模糊 QR 码图像容易造成高频细节丢失而导致恢复的清晰图像存在振铃问题。

PSNR 值是一种评价图像的客观标准,一般来说,其值越大,还原的图像与原图像之间的差距越小,即还原效果越好。利用上述不同算法,对 1—15 类 2 种不同类型的模糊 QR 码图像(共计 30 幅)进行恢复,其峰值信噪比统计见图 4。

在图 4 中,文中算法对以上 2 种不同类型模糊 QR 码图像的恢复效果最好, Xu 等算法次之, Chen 等算法最差。PSNR 值随 QR 码型号的增加而总体呈下降趋势,即 PSNR 值随 QR 码的复杂度增加而减小,但这并不影响 QR 码后续的识别,原因是 QR 码为一类特殊的图像,具有一定的容错性,对于恢复后的清晰 QR 码图像即使存在微小的噪声和振铃问题,也能够很好地读识。经大量实验证明, PSNR 值大于 13 且噪声、振铃小的情况下就能够被很好地识别。

对图 4 结果进一步识别统计,其中文中算法恢复后的 QR 码识别率为 90%,其他 2 种算法恢复后的 QR 码识别率分别为 43.33%和 23.33%。

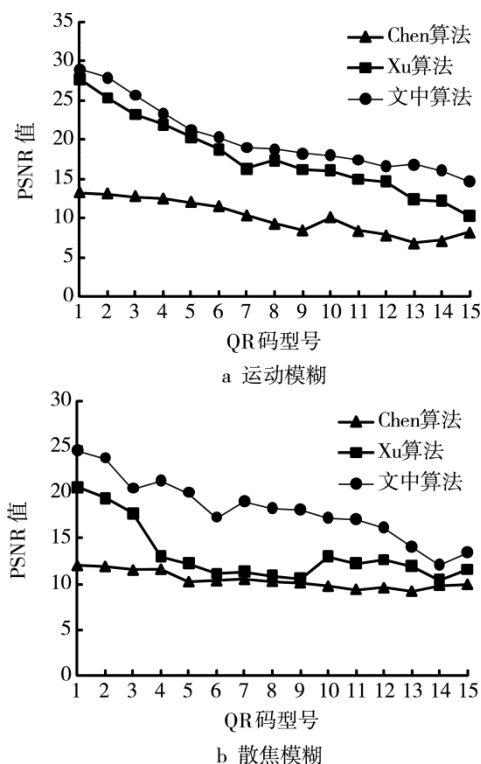


图 4 不同算法的峰值信噪比

Fig.4 PSNR of different algorithms

3 结语

通过分析模糊 QR 码图像在梯度和强度等方面的分布特征,提出了一种基于强度和梯度先验的 L_0 正则化模糊 QR 码识别方法,并对原算法进行了优化和拓展应用。考虑到该类模糊 QR 码的模糊核并不是十

分复杂,通过对模糊 QR 码图像微分自相关运算,得到的结果接近设定的模糊核尺寸,避免了人为预估模糊核尺寸耗时长、效率低的问题。对比 3 种不同算法,文中算法恢复出的清晰 QR 图像效果最好,识别率高,且不是只针对某一类模糊 QR 码图像,对于多种类型的模糊 QR 码图像恢复都能有很好的效果。

参考文献:

- [1] 孙道达, 赵健, 王瑞, 等. 基于稀疏表示的 QR 码识别[J]. 计算机应用, 2013, 33(1): 179—181.
SUN Dao-da, ZHAO Jian, WANG Rui, et al. QR Code Recognition Based on Sparse Representation[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(1): 179—181.
- [2] OU F C, JIANG W. Research of the QR Code Based on Image Preprocessing[J]. Advanced Materials Research, 2013(850/851): 835—838.
- [3] LIAO Z L, HUANG T L, WANG R, et al. A Method of Image Analysis for QR Code Recognition[J]. IEEE, 2010: 250—253.
- [4] 艾琼龙, 汪鲁才, 宗晟璇. 基于曲面拟合的 QR 码图像预处理方法[J]. 湖南第一师范学报, 2009, 9(4): 167—169.
AI Qiong-long, WANG Lu-cai, ZONG Sheng-xuan. A Method of QR Code Image Pre-processing Based on the Surface Fitting[J]. Journal of Hunan First Normal University, 2009, 9(4): 167—169.
- [5] 余维克, 黎福海. 一种基于 ADI 低成本 DSP 实现的 QR 码识别系统[J]. 电子技术应用, 2013, 39(4): 42—44.
YU Wei-ke, LI Fu-hai. QR Code Decoding System Based on ADI Low-cost DSP[J]. Application of Electronic Technology, 2013, 39(4): 42—44.
- [6] SCHULER C, HIRSCH M, HARMELING S, et al. Learning to Deblur[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 38(7): 1439—1451.
- [7] XU L, JIA J. Two-Phase Kernel Estimation for Robust Motion Deblurring[C]// Computer Vision-ECCV 2010, European Conference on Computer Vision, Heraklion, Crete, Greece, September, 2010, Proceedings.
- [8] CHO H, WANG J, LEE S. Text Image Deblurring Using Text-specific Properties[M]. Computer Vision-ECCV: Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [9] CHEN X, HE X, YANG J, et al. An Effective Document Image Deblurring Algorithm[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2011.
- [10] PAN J, HU Z, SU Z, et al. Deblurring Text Images Via L_0 -regularized Intensity and Gradient Prior[C]// Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2014 IEEE Conference on, 2014.
- [11] 王超, 陈亚运. 基于 L_0 正则化的车牌图像去模糊[J]. 电子设计工程, 2016, 24(5): 55—57.
WANG Chao, CHEN Ya-yun. License Plate Image Deblurring Based on L_0 Regularization[J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(5): 55—57.
- [12] XU L, LU C, XU Y, et al. Image Smoothing via L_0 Gradient Minimization[C]// ACM Transactions on Graphics (TOG)ACM, 2011, 30(6): 174.
- [13] 邹李, 杨绍清, 林洪文. 改进的方向微分自相关运动模糊参数识别[J]. 电视技术, 2012, 36(22): 93—96.
ZOU Li, YANG Shao-qing, LIN Hong-wen. Improved Motion-blur Coefficients Identification Based on Directional Derivation and Self-correlation[J]. Video Engineering, 2012, 36(22): 93—96.
- [14] 姜明勇, 陈向宁, 喻夏琼. 一种离焦模糊遥感图像盲复原方法[J]. 测绘科学, 2012, 37(4): 135—137.
JIANG Ming-yong, CHEN Xiang-ning, YU Xia-qiong. A Blind Restoration Method for Defocus Blurred Remote Sensing Imagery[J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(4): 135—137.
- [15] 赵琳, 金伟其, 陈翼男, 等. 基于微分图像自相关的离焦模糊图像盲复原[J]. 光学学报, 2008, 29(9): 1703—1709.
ZHAO Lin, JIN Wei-qi, CHEN Yi-nan, et al. Blind Restoration for Defocus Blurred Image Based on Autocorrelation of Derivative Image[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 29(9): 1703—1709.