

一种预测纸币序列号先知的字符分割方法^{*}

张会林, 张杰武[†], 李伦清

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海市现代光学系统重点实验室, 上海 200093)

摘要: 纸币在流通过程中不可避免地引入各种污染, 会影响纸币序列号的正常分割, 甚至引发分割失败。为了提高分割结果的准确性, 提出了一种预测先验知识的字符分割方法。对于某种面值的纸币, 根据其特有的号码排列方式定义马尔可夫链的状态, 通过求得马尔可夫链的前向识别, 可以预测纸币序列号的先验知识, 再配合连通区域法和垂直投影法, 最终得到序列号的最优分割位置。在各面值的人民币以及部分外币图像组成的数据集上测试该方法可行性, 实验效果与传统的投影法和区域连通法对比显示了该分割方法的准确性。该方法对于有污痕、折痕、字符粘连等情况的图像能进行准确分割, 比传统分割法具有更好的分割性能。

关键词: 纸币序列号; 分割; 污染噪声; 马尔可夫链; 字符先知

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)02-0608-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.02.070

Segmentation of banknote serial number with predicting priori knowledge

ZHANG Hui-lin, ZHANG Jie-wu[†], LI Lun-qing

(Shanghai Key Laboratory of Modern Optical System, College of Optical & Electron Information Engineering, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: As the banknote character segmentation results are seriously influenced by all kinds of noise and pollution, this paper proposed a character segmentation algorithm based on predicting priori knowledge. For some kinds of banknotes, it used the unique number arrangement to define the state of Markov chains, and then calculated the set of Markov transitions to get its priori knowledge. Combined with connected-component-based and projection-based algorithms, it obtained the optimized segmentation result. Tests in both various denominations of RMB and parts of the foreign currency data set show that this method is feasible, the results comparisons with the traditional connected-component-based and projection-based algorithms display that this method is more accurate. For those images like dirty, folding-traces, character-adhesion etc, this method can get an optimal segmentation result and has better performance than the traditional algorithms.

Key words: banknote serial number; segmentation; noise and pollution; Markov chains; priori knowledge

纸币序列号作为纸币唯一的“身份证”, 其重要性在流通过程中越来越明显。需要对序列号进行识别, 关键是对其进行正确分割。目前分割方法可以分为基于投影法^[1]和基于连通区域提取法^[2]两类。然而在分割过程中, 各种干扰噪声对分割结果产生很大的影响。在采集纸币号码图像时, 可能会引入如下噪声^[3]: a) 纸币在流通过程中严重磨损; b) 纸币号码图像上会出现折痕、污痕等; c) 点光源的光照不均, 使得图像各处的对比度不同。如何处理这类噪声, 现有方法有很多, 如采用邻域平均^[4]或中值滤波的方法^[5]等, 然而这些方法在消除噪声的同时, 却使图像变得模糊, 丢失了字符的细节特征。文献[6]在基于字符的先验知识基础上, 对区域内的连通区域进行筛选, 再找出符合条件的字符, 该方法能在各种噪声中找到字符的位置并分割出来。事实证明^[1-6], 基于连通分量提取结合字符先知的方法已经具有很好的分割效果, 适用性最强, 是目前主流的研究算法。另外, 由于世界各国的纸币种类繁多, 其序列号的个数、大小等特征相差甚大。如何获得这些纸币的先知, 从而在这各类噪声图像中找到字符位置, 目前还没有十分完美的方法。

本文提出了利用马尔可夫链^[7]预知纸币序列号先验知识

过程以及相应的字符分割方法。针对不同类型、不同面值的纸币, 只要利用其序列号特有的排列方式来定义马尔可夫链中的状态, 通过求得马尔可夫链前向识别过程, 就可以预知纸币的先验知识, 并结合连通区域法和垂直投影法就能找到字符分割最佳分割点。该算法可以不依赖于纸币序列号的精确定位, 能在粗定位的区域图像上直接获得很好的分割效果, 具有良好的抗干扰性。此外, 在分割结束后还可以获得一个后验概率对此次分割进行评价, 可以与字符识别的置信度相结合, 获得更可靠的识别效果。

1 序列号区域预处理

序列号区域的处理可分为灰度对数变换、高提升滤波和二值化三个步骤。其效果如图1所示。

对图像中的各点灰度值进行对数变换, 一般表达式为

$$T = C \times \log(1 + S) \quad (1)$$

其中: C 为尺度比例常数; S 为源灰度值; T 为变换后的目标灰度值。变换前, 整个区域灰度可以分为三个等级^[9]: 处于最高的是区域背景, 处于最低的是字符特征, 而处于两者之间的是

收稿日期: 2013-04-15; 修回日期: 2013-06-07 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60777045); 上海市第三期重点学科项目(S30502)

作者简介: 张会林(1971-), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为数字图像处理、人工智能; 张杰武(1986-), 男(通信作者), 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、机器视觉(zjw0746@sina.com); 李伦清(1988-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、机器视觉。

幅图像中较暗部分的细节,降低高亮度部分的灰度。这就使得背景的高灰度区与干扰和噪声的灰度差就减小了,从而使得干扰和噪声淹没在背景之中,如图1(b)所示,在一定程度上达到滤除噪声的效果。

由于经过对数变换后,字符特征的总体灰度减小了,字符特征显得不明显,因此还必须进行高提升滤波,增强字符本身的特征,以保留字符的细节。

对图像的任何一点处,高提升滤波后的图像可定义为

$$g(i, j) = A \times f(i, j) + \text{sharpen}(f(i, j)) \quad (2)$$

其中: $f(i, j)$ 为原图像; $\text{sharpen}()$ 为锐化算子; A 为提升系数, A 不小于1。式(2)可进一步写成

$$g(i, j) = (A - 1) \times f(i, j) + f_s(i, j) \quad (3)$$

其中: $f_s(i, j)$ 为原图高通滤波结果。可见,高提升滤波既包含了低频分量,又包含了增强的高频信息,包含的信息更加丰富,对比度更强,如图1(c)所示。

再对图像进行二值化,如图1(d)所示,即完成了序列号区域的预处理工作。

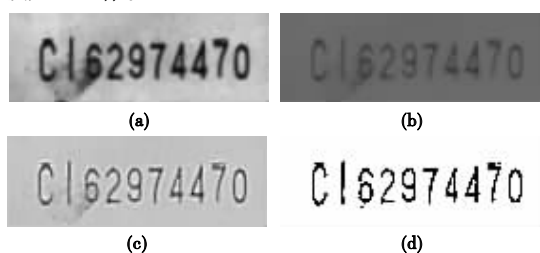


图1 预处理效果图

2 预测纸币的先验知识过程

2.1 纸币序列号字符分割问题的定义^[2]

纸币序列号分割问题可以定义为

$$V^* = \arg \max_{C \in S} P(V, S) \quad (4)$$

式中: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为纸币序列号分割的解变量; V^* 为最优解向量; n 为纸币总的序列号个数; S 为解空间; $P(V, S)$ 为分割结果的置信度,即最终的分割结果由先知识来评价,下文称为后验概率。

令包括所有字符的序列号候选区域图,其宽为 w ,高为 h ,若采用连通区域法进行分割,则对应的解空间为

$$S = \{\text{left}: [0, w], \text{top}: [0, h], \text{right}: [0, w], \text{bottom}: [0, h]\}$$

若采用投影法进行分割,则对应的解空间为

$$S = \{\text{left}: [0, w], \text{right}: [0, w]\}$$

图2分别展示了投影法和连通区域法对应的分割结果,其中投影法找到的分割位置用竖直线标出,连通区域法找到的分割位置用方框标出,从中可以很直观地看出两者可能会有相同的解 V 。



图2 垂直投影法和连通区域法找到的某个解 V

2.2 基于字符排列的马尔可夫状态及其转移过程

在序列号候选区域图像中,对找到的 m 个连通区域进行标记 $L_v = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$,利用马尔可夫过程来表达式(4)定义

的字符分割问题。令分割序号最终的某一分割结果为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$,其中 n 为序列号的个数,则在特定种类、特定面值的纸币序列号固有的序列号排列方式下,可以用如图3所示的马尔可夫链来展开整个分割过程,图中列出了包含 $i-1$ 、 i 、 $i+1$ 个字符排列情况。由于包含 i 个字符的字符排列状态多种多样,图中只列出了两个典型的排列方式(以下人民币 $i=10$ 为例,10元、20元的首两字母稍大,数字大小一致,底边都位于同一水平线上;50元、100元的字符排列方式是中间第5和第6位置的字符最大,两边的字符依次对称变小)。表1、2给出了我国人民币和外币的字符排列状态数量统计。

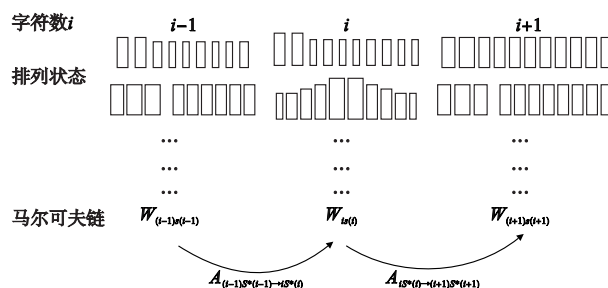


图3 马尔可夫模型的字符分割

表1 国内人民币序列号排列状态数量

字符数量	6	7	8	10
排列状态数量	1	1	1	4

表2 国外纸币序列号排列状态数量

字符数量	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
排列状态数量	14	25	31	35	32	42	38	29	14	14

假设一类纸币包含 n 个序列号,到达最后的观察状态时所经历的转移概率为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{n-1}\}$,最终观测概率为

$$P = \sum_{i=1}^n P(W_{is^*(i)}) = \sum_{i=1}^n A_i(v_i) P(W_{(i-1)s^*(i-1)}) = \sum_{i=1}^n P(W_{1s^*(1)}) \prod_{j=1}^{i-1} A_j(v_j) \quad (5)$$

其中: $P(W_{1s^*(1)})$ 为当前选定的区域是纸币序列号字符之一的概率,可以通过计算字符的长与宽的比得到; $W_{is^*(i)}$ 为当前区域内包含 i 个序列号时处于的排列状态; $s^*(i)$ 为状态描述; $A_j(v_j)$ 为当前观测状态下再选择区域后观测状态变为 $W_{(j+1)s^*(j+1)}$ 时的转移概率,可以由式(6)得到

$$v_j = \arg \max_v (P(W_{(j+1)s^*(j+1)})) = \arg \max_v (A_{W_{js^*(j)} \rightarrow W_{(j+1)s^*(j+1)}}(v) P(W_{js^*(j)})) = \arg \max_v (A_{W_{js^*(j)} \rightarrow W_{(j+1)s^*(j+1)}}(v)) \quad (6)$$

其中: $A_{W_{js^*(j)} \rightarrow W_{(j+1)s^*(j+1)}}(v)$ 为状态 $W_{js^*(j)}$ 下再选择字符区域 v 后,可能有的排列状态 $W_{(j+1)s^*(j+1)}$ 所对应的转移概率集合。由式(6)可知,在转移过程中,每次都选择可以使得当前观测序列具备最大转移概率的区域。最后,纸币序列号分割的最大后验概率为

$$P = \sum_{i=1}^n P(W_{1s^*(1)}) \prod_{j=1}^{i-1} \max_v (A_{W_{js^*(j)} \rightarrow W_{(j+1)s^*(j+1)}}(v)) = \sum_{i=1}^n P(W_{1s^*(1)}) \prod_{j=1}^{i-1} A_j(v_j) \quad (7)$$

3 字符序列号分割

由于式(7)获取了整个观测序列为纸币序列号的概率,因此可以有效地处理序列号区域存在污损、字符间存在粘连情况的分割问题。获取序列号的最优分割位置的步骤如图4所示。

图4中, $V^* = \{ \}$ 和 P^* 分别为最优观测序列和后验概率, ε

为某一经验阈值, n 为某类纸币包含的序列号个数。由本文算法获得的最大后验概率 P^* 和分割观测序列 $V^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$, 其中 u 为序列号图像可以分割出来的字符数。此分割结果可以直接根据最大后验概率 P^* 来评价。由于纸币序列号区域会存在污损、字符粘连的情况, 所以传统连通法并不能准确标记出图像中的每个字符, 本文算法中被加入到观测序列的都是完整的、无粘连的字符。如果当前的最大转移概率 $A_{\max}$ 小于一个经验阈值 ε , 则表示可以接受的纸币序列号已经全部找到, 其余字符将在下一步使用投影法来处理, 算法中经验阈值 ε 的选取与转移概率的计算相关。

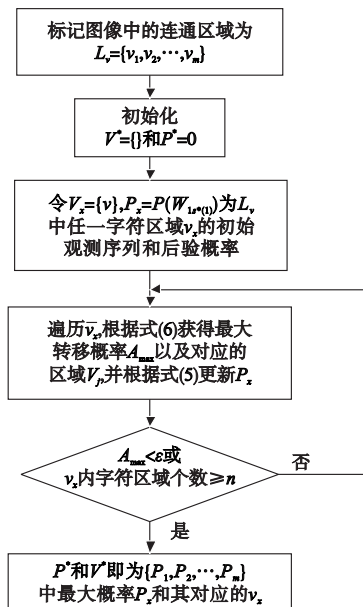


图4 获取字符最优位置流程

在实际应用中, 首先利用各类纸币序列号所处的固定区域进行粗定位, 得到序列号的候选区域, 将此区域灰度对数变换、高提升滤波处理以及二值化后, 再运用上文所述算法获得最优分割序列 $V^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$, 可以对最优序列进行完整性判断, 从而决定下一步的处理。如果候选区域没有找到 n 个序列号, 则通过观测序列确定纸币序列号区域的上下边界, 由 V^* 获得序列号的长宽等信息, 再通过局部垂直投影获得字符的垂直信息, 结合字符的高度构造出序列号的相应区域。

图5(a)显示了粗定位后的纸币序列号区域的整个字符分割过程, 图中采用实际中一个稍有干扰的图像, 在经过滤波处理以及二值化后, 图像中8个字符区域被列入最优观测序列。在此基础上进行局部投影生成区域如图5(b)所示, 最后将字符区域进行归一化用于最后的字符识别操作。

4 实验结果和分析

给出了常用的投影法和连通区域法与本文算法, 分别针对我国第5套人民币、美元、英镑以及其他国家现流通的部分纸币, 进行序列号分割时的实际性能对比。所有的图像都来自于高分辨率高速线阵 CCD 摄像机, 分辨率为 940×600 。实验中, 所有分割结果均在序列号粗定位结果下进行测试。

针对我国的人民币, 分别任意采集了10元、20元、50元、100元面值人民币共1000张。在进行粗定位后得到的序列号候选区中, 有字符粘连情况的143张, 有污点情况的137张, 有折痕情况的155张, 有背景图案的168张, 有亮度不均的157张。在进行外币序列号分割测试中, 由于外币种类繁多, 为了

对比方便, 在同样的环境中只采取了各面值的美分313张、各面值的英镑347张、其他国家纸币368张(共1028张, 其序列号的特征约占世界上现流通纸币的90%)。同样, 在进行粗定位后得到的图像中, 有字符粘连情况的194张, 有污点情况的183张, 有折痕情况的197张, 有背景图案的179张, 有亮度不均的153张。

图6分别给出了投影法(第1、4列)、区域连通法(第2、5列)以及本文算法(第3、6列)在人民币(左三列)和外币(右三列)上分割得到的部分结果。由于三种方法都经过了去噪的预处理过程, 因此都有良好的抗干扰性。从图中可以看出, 对于二值化后出现字符断裂的情况, 投影法比连通区域法更能正确找到分割点; 而对于背景复杂、污染噪声严重的情况, 连通区域法的分割性能比投影法更好。本文算法不但继承两种算法的各自优点, 而且还能对有背景图案、字符间粘连等情况进行准确分割。传统的投影法和连通区域法出现分割错误, 是由于序列号区域存在较多污损和各式的折痕引起的; 投影法会误把污损形成的峰值当成字符特征; 连通法会在字符间的粘连或字符断裂情况严重时找不到完整的字符连通区, 分割失败; 而本文算法在根据纸币字符特征预知字符的先知后, 再合理结合投影法和区域连通法, 准确地找到字符的最优位置。从图6中可以看出, 本文方法明显提高了分割的准确性。

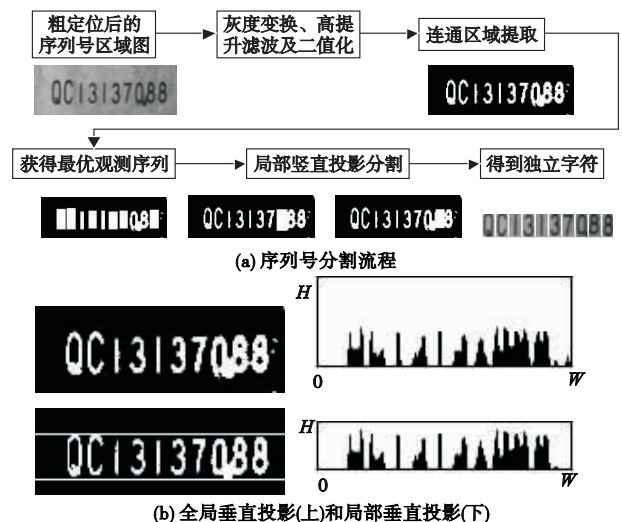


图5 本文算法的字符分割流程

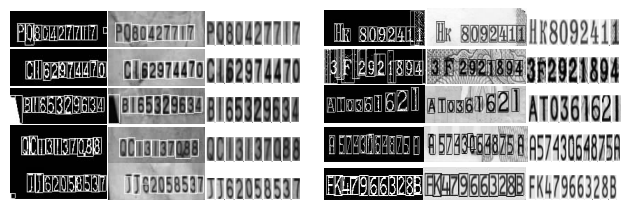


图6 三种算法在我国人民币(左)以及外币(右)上的一些分割效果

表3给出了三种方法的分割结果对比统计。表中对不同的污染噪声进行了分类。由于三种算法都是经过了同样的预处理过程, 所以在针对无明显污损的图像中, 三种方法都能很好地进行分割, 对有拆痕的情况, 投影法和连通法的性能只比本文算法稍差。在处理其余污染噪声时, 三种方法表现了各自的特点: a) 对于字符体断裂和有污染的情况, 投影法比区域法的性能要更好, 这是由于垂直投影法可以处理那些没有在垂直方向出现断裂的字符情况, 但两者准确率都不及本文算法, 从表中可以看出, 在处理有污染、有粘连、多余图案的情况下, 本文算法明显提高了分割正确率; b) 本文算法在处理亮度不均的图像时, 会出现比较严重的分割错误情况, 这是因为在亮度

不均的图像中,字符的特征与背景之间的灰度差太小,在预处理后,候选区里字符连通分量无法完全提取,从而导致字符先验知识引入失败,所以在性能上会与投影法和区域法相当。这类情况在磨损严重的纸币上尤为明显,只有通过改进采集图像时的硬件环境来解决,以获得对比度均匀的图像。

表3 三种分割算法针对纸币污损情况的处理性能对比

污染噪声分类	总数	垂直投影分割法		连通区域分割法		本文算法	
		正确分割数量	准确率/%	正确分割数量	准确率/%	正确分割数量	准确率/%
有折痕	352	324	92.05	327	92.90	341	96.88
有污染	320	279	87.19	264	82.50	308	96.25
有粘连	337	285	88.93	277	82.20	329	96.56
亮度不均	310	275	88.71	277	89.35	282	90.96
有背景图案	347	283	81.56	295	87.58	274	94.12
无污损	362	359	99.17	357	98.61	360	99.45

5 结束语

本文提出了一种利用马尔可夫链预测纸币序列号先知的字符分割方法。依据纸币具备的特有模板,通过定义字符的排列状态,估计出相应分割的可能状态,并与传统的基于投影法和连通区域法相结合,找到字符的最优分割点。该方法不依赖于纸币序列号的精准定位过程,能直接在粗定位的序列号区域进行处理,抗干扰能力强。经反复的实验结果表明,对于纸币图像在采集过程中引入的污染、折痕、多余图案等噪声,本文算法的正确率明显优于常用的投影法和连通区域法,具有很好的抗干扰性。但对于亮度不均的图像,本次算法由于无法获得序列号字符的先知,最终的分割结果与投影法和区域法相当。本文算法另一个优点就是会在每次分割后给定一个后检概率,用来评价本次分割的最优性能,可以与字符识别的置信度相结合,进一步提高序列号的识别率。对于不同类型的纸币,由于其特有的字符排列规则,只需采用不同的转移概率,就可以进行快速移植,从而可以广泛地应用于不同币种序列号的识别场合,具有更广阔的应用前景。

(上接第599页)图像进行实验,证明了本文方法的有效性。不过本文方法针对噪声过大的模糊图像,恢复效果有所下降,需进一步研究改进。

参考文献:

- [1] 吴斌,吴亚东,张红英. 基于变分偏微分方程的图像复原技术[M]. 北京:北京大学出版社,2008.
- [2] 陈繁昌,沈建红. 图像处理与分析:变分、PDE、小波及随机方法[M]. 陈文斌,程晋,译. 北京:科学出版社,2011.
- [3] TIKHONOV A N, ARSENIN V Y, JOHN F. Solutions of ill-posed problems[M]. Washington DC: V H Winston & Sons, 1977.
- [4] RUDIN L, OSHER S, FATEMI E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. *Physica D*, 1992, 60(1-4): 259-268.
- [5] FERGUS R, SINGH B, HERTZMANN A, et al. Removing camera shake from a single photograph[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2006, 25(3): 787-794.
- [6] KRISHNAN D, FERGUS R. Fast image deconvolution using hyper-Laplacian priors[C]//Proc of NIPS. 2009.
- [7] CHAN T F, WONG C K. Total variation blind deconvolution[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1988, 7(3): 370-375.
- [8] CAI Jian-feng, JI Hui, LIU Chao-qiang, et al. Blind motion deblurring from a single image using sparse approximation[C]//Proc of IEEE

参考文献:

- [1] LI Wen-hong, TIAN Wen-juan, CAO Xi-yan, et al. Application of support vector machine (SVM) on serial number identification of RMB[C]//Proc of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 6262-6266.
- [2] GAI Shan, LIU Peng, LIU Jia-feng, et al. The design of HMM-based banknote recognition system[C]//Proc of IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2009: 106-110.
- [3] 苑玮琦, 张昱. 纸币号码快速识别系统[J]. *计算机工程*, 2005, 31(24): 153-155.
- [4] HASSANPOUR H, PAYAM M F. Using hidden Markov models for paper currency recognition original[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(6): 10105-10111.
- [5] HE Ke-xue, PENG Shu-rong, LI Shu-tao. A classification method for the dirty factor of banknotes based on neural network with sine basis functions[C]//Proc of International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 159-162.
- [6] GAO Qian, WANG Xin-nian, XIE Gong-fu. License plate recognition based on prior knowledge[C]//Proc of IEEE International Conference on Automation and Logistics. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 2964-2968.
- [7] 李旭超, 朱善安. 图像分割中的马尔可夫随机场方法综述[J]. *中国图象图形学报*, 2007, 12(5): 789-798.
- [8] JIA Wen-jing, HE Xiang-jian, WU Qiang. Segmenting characters from license plate images with little prior knowledge[C]//Proc of International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 220-226.
- [9] SUN Bai-qing, LI Ji-lu. The recognition of new and old banknotes based on SVM[J]. *Intelligent Information Technology Application*, 2008, 157(7): 95-98.
- [10] FRANC V, HLAVAC V. License plate character segmentation using hidden Markov chains[C]//Lecture Notes in Computer Science, vol 3663. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 385-392.
- [11] Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009: 104-111.
- [9] CHO S, CHO H, TAI Y W, et al. Registration based non-uniform motion deblurring[J]. *Computer Graphics Forum*, 2012, 31(7): 2183-2192.
- [10] KRISHNAN D, TAY T, FERGUS R. Blind deconvolution using a normalized sparsity measure[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2011: 233-240.
- [11] BECK A, TEOULLE M. A fast iterative shrinkage thresholding algorithm for linear inverse problem[J]. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 2009, 2(1): 183-202.
- [12] WANG Yi-lun, YANG Jun-feng, YIN Wo-tao, et al. A new alternating minimization algorithm for total variation image reconstruction[J]. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 2008, 1(3): 248-272.
- [13] TOMASI C, MANDUCHI R. Bilateral filtering for gray and color images[C]//Proc of International Conference on Computer Vision. [S. l.]: IEEE Press, 1998.
- [14] LEVIN A, FERGUS R, DURAND F, et al. Image and depth from a conventional camera with a coded aperture[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2007, 26(3): 70-72.
- [15] SHAN Qi, JIA Jia-ya, AGARWALA A. High-quality motion deblurring from a single image[J]. *ACM Trans on Graphics*, 2008, 27(3): 73.