

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2021.202

# 包围圆分割在铁路货车车号字符的应用

靳延伟, 董 昱, 张晓丽

(兰州交通大学 自动化与电气工程学院, 兰州 730070)

**摘要:**针对铁路货车车号的断裂、倾斜、变形等特点,传统字符分割方法分割精度低的问题,提出一种基于改进包围圆的分割方法。基于铁路货车单行、双行 2 种排列方式,采用自适应游程算法进行双行车号的分割,鉴于游程算法背景像素前景化的处理特点,预先采用游程算法进行断裂消除,再使用包围圆方法进行字符分割。实验结果表明:在图像质量不高情况下,可以实现良好的分割精度且在分割准确率和鲁棒性方面均优于传统算法。

**关键词:**图像处理;字符分割;货车车号;包围圆

**中图分类号:**TP391.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2022)07-112-10

## Application of enclosing circle segmentation in railway freight train number and characters

JIN Yanwei, DONG Yu, ZHANG Xiaoli

(College of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University,  
Lanzhou 730070, P. R. China)

**Abstract:** Due to the fracture, tilt, and deformation of railway freight train number and characters, the traditional segmentation method faces the problem of low segmentation accuracy. In this paper, a segmentation method based on improved enclosing circle was proposed. Firstly, the adaptive run length algorithm was used to segment the double line train number and characters based on the single line and double line arrangement of railway freight trains. With the characteristics of foreground processing of background pixels in run length algorithm, the run length algorithm was used to remove the breaks in advance, and then the enclosing circle method was used for character segmentation. The experimental results show that, in the case of low image quality, the proposed method can achieve good segmentation accuracy. Compared with the traditional algorithms, it is superior in segmentation accuracy and robustness.

**Keywords:** image processing; character segmentation; freight train number and characters; enclosing circle algorithm

收稿日期:2021-02-21 网络出版日期:2021-05-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61763023)。

Supported by National Natural Science Foundation of China(61763023).

作者简介:靳延伟(1995—),男,硕士研究生,主要从事图像处理、机器视觉研究。

通信作者:董昱,男,教授,(E-mail)bbnxkl1111@163.com。

近年来,随着铁路建设信息化的发展,面向图像的铁路货车车号识别问题受到了诸多研究学者的关注。目前,铁路货车车号的定位问题已经发展得比较成熟,但识别准确率还有待提高,在进行调研之后,车号的识别主要分为2种模式:一种是基于整个车号字符的识别,另一种是基于单个字符的识别。前者对定位后的结果进行直接识别,省略了分割的步骤。目前比较成熟的整体识别算法有卷积循环神经网络(CRNN, convolutional recurrent neural network)及系列变种等<sup>[1-3]</sup>。传统CRNN模型是由基于卷积神经网络组成的特征提取层、由循环神经网络构成的预测层及转录层构成,相比传统网络有诸多优势,但存在训练网络需求数据量巨大、训练时间长且易产生梯度消失等问题。基于单个车号字符识别的分割算法需要预先将车号字符分割成单个字符,对分割后的单个字符进行识别。可以看出,这种方式分割结果的好坏会直接影响到识别准确率的高低。因此,文中针对铁路车号分割的问题展开研究。

货车车号字符分割问题与汽车车牌类似,同属于文本分割问题。现有字符分割方式主要有2种:1)基于投影的方法<sup>[4-8]</sup>。该方法主要是利用字符间距中没有文本,沿着文本行的垂直方向及水平方向进行投影,仅针对正平行或近似正平行的图像文本,但对于透视变形、倾斜的文本需要预先校正,直接处理效果不理想。2)基于连通域的方法<sup>[9-11]</sup>。通过聚类算法获取文本连通区域,利用矩形包围框的相邻关系进行区域合并或分裂。但矩形包围框均是正平行的矩形框,应用于曲线排列、倾斜及存在透视变形情况的字符很难精确描述单个字符位置和大小。另外,基于形态学和基于神经网络的方法也被应用到字符的分割问题中。

从现有采集数据来看,定位后的车号区域字符具有以下几点特征:1)铁路货车车号一般漆刷在车身左上角和中间下端边缘处,图像是在车辆运行情况下拍摄采集,字符普遍会出现倾斜问题;2)拍摄装置硬件原因会导致采集图像变形,字符出现扭曲排列现象;3)铁路货车长年在野外行驶,环境恶劣,车号字符局部颜色淡化导致字符部分缺失;4)车号漆刷的样式多变,有单双行2种方式,漆刷位置易受到车号栅栏结构的影响。

基于以上特征的考虑,文中针对货车车号字符的特点,采用自适应游程平滑算法对双行车号进行行分割,重新设置算法参数,对单行的字符进行区域合并,消除或减小字符的断裂程度,再利用文献[12]的思路进行单个字符分割。为验证算法的有效性和鲁棒性,文中收集货车车号数据图像集500张进行算法验证,实验结果表明,文中所提出的算法可以实现铁路货车车号字符的准确分割,具有良好的实际应用价值。

## 1 双行车号分割

铁路货车车号存在单行车号、双行车号2种类别,在进行车号字符分割之前,预先需要将双行字符分割成2个单行字符。文中采用自适应游程算法(ARLSA, adaptive run length smoothing algorithm)进行铁路货车车号的行间隙判断。自适应游程平滑算法<sup>[13]</sup>是由Nikolaou等提出,广泛应用于版面分割。利用对二值化图像同一水平行的背景像素点进行距离计算,将位于同一行的单个字符连通域进行合并,不同连通域之间以空白区域隔开,实现文本行分割的目的。此算法对图片质量要求比较低,在图片有阴影、光照不均、低对比度及污损等情况也可以实现文本行的精确分割。

### 1.1 图像预处理

自适应游程算法本质上是对将背景区域像素点进行前景化处理,所以需要原始三通道图像转化成二值化图像。因此,文中采用改进最大类间方差算法(OTSU)<sup>[14]</sup>进行图像处理,处理结果如图1所示。但二值化图像中存在较多由于货车车身栅栏结构引起的长条状、线段等背景干扰信息,可近似看作多条直线段构成,由此,文中采用霍夫直线检测算法<sup>[15]</sup>进行直线检测经过直线拟合得到图像 $I_2$ ,并与原二值化图像 $I_1$ 作“同或”运算,得到消除背景干扰后的图像 $I_3$ 。相同位置像素点进行“同或”处理,如图1中c列所示,图中红色像素点为经霍夫检测算法计算出的直线区域,与图 $I_1$ 相比,图 $I_2$ 中的直线区域的像素值不同,因此,选择进行“同或”运算,对检测出的直线进行滤除,以此达到消除直线的目的。



图 1 预处理结果部分示例图

Fig. 1 Some examples of preprocessing results

1.2 双车号分割

1.2.1 自适应游程算法原理简介

在列车运行过程中,相机拍摄角度不当、车号字符漆刷方式、铁路货车车身复杂的栅栏结构等原因会导致图像倾斜、字符出现断裂以及出现大量干扰信息等问题,传统的直线分割法已经不能正确将双行车号进行正确分割,自适应游程算法是现有页面布局分析和分割技术中最常用的算法之一,目的是将同一个文本区域重新组合在一起,可以将同一字符的各断裂部分重新连接,根据以上特点分析,文中参照文献[13]的思路建立的双车号分割模型。

在应用之前,需要进行连通分量分析。考虑了 2 种背景像素(白色)序列。第一种类型涉及发生在属于同一字符的 2 个前景像素(黑色)之间的序列,在这种情况下,将序列的所有背景像素替换为前景像素。第二种类型的背景像素序列发生在 2 个不同相邻字符之间,在这种情况下,针对连接字符的几何特性设置约束,并且在满足约束条件时执行前景像素替换。

自适应游程算法中,设定  $C_i$ 、 $C_j$  是图像第  $i$ 、 $j$  个文本连通域,如图 2 所示。

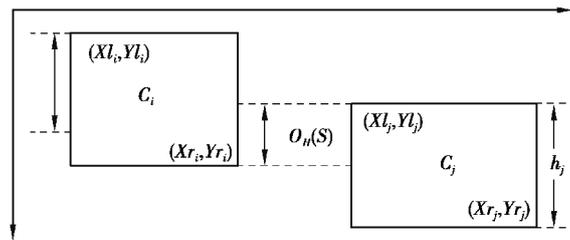


图 2 文本连通域示意图

Fig. 2 Connected domain of the text

$S(i, j)$  表示文本连通域  $C_i$ 、 $C_j$  之间背景像素的水平序列,相关参数如下所示:

- 1)  $L(S)$  是序列的长度,表示背景像素点的个数。
- 2)  $H_R(S)$  表示连通域  $C_i$ 、 $C_j$  包围矩形框的高度比为

$$H_R(S) = \frac{\max(h_i, h_j)}{\min(h_i, h_j)}, \tag{1}$$

式中:  $h_i$ 、 $h_j$  表示连通域  $C_i$ 、 $C_j$  包围框的高度值。

- 3)  $O_H(S)$  表示 2 个文本连通域  $C_i$ 、 $C_j$  包围框之间的宽度交叠值为

$$O_H(S) = \max(Yl_i, Yl_j) - \min(Yr_i, Yr_j), \tag{2}$$

式中:  $(Xl_i, Yl_i)$ 、 $(Xr_i, Yr_i)$  分别表示连通域  $C_i$  的左上角坐标和右下角坐标。当  $O_H(S) < 0$  时,表示两连通

域水平方向有背景重叠部分存在。

4)  $N(S)$  是一种二值化的输出函数,若文本连通域  $C_i$  与  $C_j$  之间的背景水平像素序列  $S(i, j)$  的  $3 \times 3$  邻域的像素均仅介于  $C_i$  与  $C_j$  之间,没有第三个文本连通域存在,则  $N(S)$  的值置为 1。否则,  $N(S)$  置为 0。背景像素平滑示意如图 3 所示。

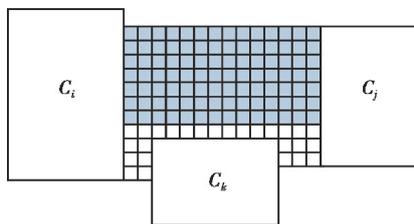


图 3 背景像素平滑示意图

Fig. 3 Background pixel smoothing diagram

基于以上指标的分析,背景像素点仅在满足以下条件的情况下才能转换成前景像素点。判断条件为

$$(L(S) \leq T_1) \wedge (H_R(S) \leq T_h) \wedge (O_H(S) \geq T_0) \wedge (N(S) = 1), \tag{3}$$

式中:从两文本连通域之间连续背景像素点数目  $L(S)$ 、文本连通域包围框的高度比、宽度交叠比,  $T_1$ 、 $T_h$ 、 $T_0$  为预先设定阈值,其中,  $T_1$  和  $T_0$  为

$$T_1 = \alpha \cdot \min\{h_i, h_j\}, \tag{4}$$

$$T_0 = c \cdot \min\{h_i, h_j\}, \tag{5}$$

式中:阈值  $T_h$  被设置为 1.7 是基于铁路标准 TB/T1.1 对于铁路车列字符漆刷的字体要求,双行漆刷的车号下标字符的高度为 120 mm,正常字符高度为 200 mm,单行车号的下标字符漆刷高度为 120 mm,正常字符漆刷高度为 70 mm。从已收集的数据来看,字符高度比集中在 1.6~1.7 之间,因此,将  $T_h$  的值设为 2,为同一文本行的字符之间的字体大小变化提供了足够的公差。

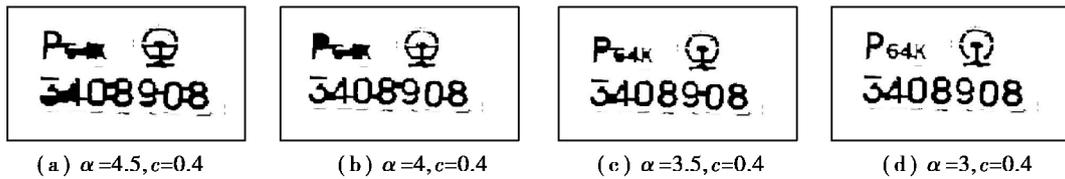
自适应游程算法实现双行车号分割以及单个字符的分割算法优化,因此,结合货车车号字符特征,对算法参数进行讨论。参照铁道车辆标记规范 TB/T1.1 文件,规定车号相邻较小字符高度与字符间隔比值为 4~10。因此,实现双行车号分割时,应尽可能将同行的所有字符重组成一个连通域,设定  $\alpha$  值取最大值 10 作为初始值讨论;实现单个字符分割时,应将同一字符的各连通域进行组合,不同字符连通域之间避免组合,  $\alpha$  值应取小于最小值,因此,文中将  $\alpha$  设定为 3.5 作为初始值进行讨论,  $c$  值设定 0.4 进行讨论。双行车号的分割实验结果如图 4 所示,可以看出,实现  $\alpha=12$ 、 $c=0.4$  时,双行车号的分割精度最优,重新组合后的连通域具有更光滑的边缘。



图 4 参数  $\alpha$  对双行车号分割结果的影响

Fig. 4 Influence of parameter  $\alpha$  on segmentation result of double line vehicle number

对于车号字符分割,应用算法的结果如图 5 所示。可以看出,自适应游程算法可以很好地解决字符断裂问题,当  $\alpha > 3$  时,下标字符出现了过填充的情况,会将相邻字符重新组合成一个连通域,造成误分割;当  $\alpha = 3$  时,可以将同一字符组合成一个连通域,避免了将相邻字符组合,实现了字符内部断裂消除,分隔开相邻字符。因此,在实现单个字符分割时,将  $\alpha$  设定为 3,  $c$  设定为 0.4 作为优化算法的参数。

图 5 参数  $\alpha$  车号字符分割结果的影响Fig. 5 Influence of parameter  $\alpha$  on segmentation result of vehicle number character

### 1.2.2 算法应用

自适应游程算法将同一行的字符重新组合在一起,同时检测出双行字符之间的间隙作为行障碍物。将行障碍物的位置作为双行车号字符的分割点,实现分割目标。在应用游程算法之后,垂直白游程直方图  $h_v(\omega)$ ,对于行障碍物的检测,将值小于  $M_v = \arg\max h_v(\omega)$  的白色游程序列作为文本行障碍物,其中  $M_v$  表示不同车号字符行之间的白色像素游程距离。图 6 所示为车号障碍物检测结果部分示例。其中,蓝色表示行障碍物,绿色表示不同行之间可能的水平连接。所有连接属于不同车号行的对象都被障碍物隔开。

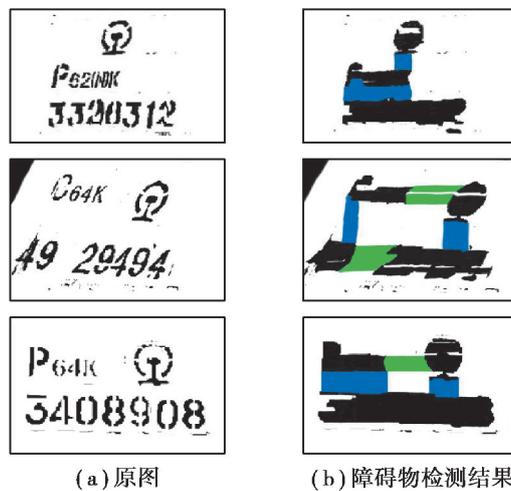


图 6 车号分割结果部分示例

Fig. 6 Some examples of vehicle number segmentation results

从图 6 可以看出,文中采用的自适应游程算法可以准确检测出不同行车号字符之间的间隔,实现双行车号的准确分割。

## 2 基于包围圆几何参数的字符分割

图像采集于货车运行过程中,图像采集设备和货车车号位置不是正对关系,并且由于安装相机不够平稳、车号字符出现断裂等原因造成拍摄车号图像出现非水平排列或有透视变形的问题,考虑到车号字符排布的多样性,会出现透视变形、字符断裂的特征以及包围圆的无向性等问题。笔者参照文献[12],选择圆代替传统矩形框作为字符连通域的外接形状,通过确定包围圆的几何参数作为车号字符的位置,从而达到分割点目的,但以往成果研究表明,基于包围圆的方法对相邻字符字体断裂的情况下会出现错分情况。

### 2.1 包围圆构建

包围圆的构建方式为

$$\begin{cases} u_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_i} u_i^j, \\ v_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_i} v_i^j, \\ R_i = \text{round}\left\{ \max_{j=1,2,\dots} \left[ \sqrt{(u_i^j - u_i)^2 + (v_i^j - v_i)^2} \right] \right\}, \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $(u_i, v_i)$  表示第  $i$  个文本连通区域的第  $j$  个前景像素点的坐标;  $N_i, (u_i, v_i)$  及  $R_i$  分别代表第  $i$  个连通区域的像素数目、包围圆圆心和半径。并由式(6)得出各连通域的包围圆参数。

### 2.2 文本连通域的捆绑原则

铁路货车车号字符在漆刷时候有垂直方向的断裂现象, 单个字符的各个断裂部分并不是在同一个连通域中, 为了准确合并同一字符的各个部分, 设立相交比原则、互相交原则进行区域合并。相交比定义为

$$R(c_i, c_j) = \frac{A(c_i \cap c_j)}{\min\{A(c_i), A(c_j)\}}, \tag{7}$$

式中:  $A(\cdot)$  表示面积;  $c_i$  和  $c_j$  分别表示第  $i$  个、第  $j$  个文本连通域的包围圆。相交比原则是根据式(7)求出两文本连通域的两相交比, 并根据设定阈值  $s$  比较是否需要合并。由式(7)确定两圆的相交比, 若其大于指定阈值  $U$ , 则合并对应的连通区域。

不同货车号字符的字符连通域的包围圆的结构如图 7 所示。其中,  $p_1$  和  $p_2$  的相交比接近 1, 确定为同一字符区域, 进行区域绑定;  $p_2$  和  $p_3$  包围圆面积交叠比为 0, 确定为不同字符区域。以上是对相交比原则的绑定结果体现, 由于字符本来漆刷特点以及后期处理后出现局部断裂问题, 造成车号字符有几块区域构成, 所以设定互相交原则进行连通域的绑定。如图 7 所示,  $p_5$  与  $p_3$  相交、 $p_3$  与  $p_4$  相交、 $p_4$  与  $p_5$  相交, 构成一个封闭环, 根据互相交原则, 将  $p_3, p_4, p_5$  绑定同一区域。

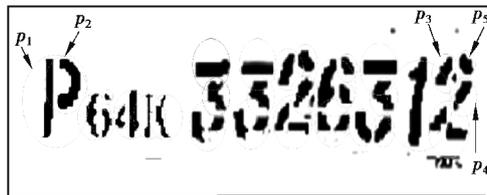


图 7 不同连通域的位置关系示意图

Fig. 7 Schematic diagram of location relationship of different connected domains

经过实验仿真, 在相交比原则的阈值设定为 0.4、互相交原则阈值设定为 0.04 时, 分割效果精度最优, 分割示例如图 8 所示。可以看出, 在出现字符断裂或相邻字符字体差异较大或的情况下, 会出现错分情况。因此, 文中利用自适应游程算法对字符预先进行连通域重组, 将同一字符不同连通域进行合并重组, 减小字符断裂及字符差异对分割精度的影响。



图 8 货车车号分割过程示例

Fig. 8 Example of freight train number segmentation process

### 2.3 算法优化

经过大量实验发现,鉴于包围圆分割方式字符断裂的情况下会出现错误合并,如图 8(d)所示。因此,利用 1.2.1 小节预先采用自适应游程算法进行连通域重组,减小或消除字符断裂,再利用包围圆算法进行字符分割,实验结果如图 9 所示,图 9(a)列为分割算法输入原图像,图 9(b)是仅适用包围圆算法进行字符分割结果,图 9(c)为在分割前预先使用自适应游程算法进行字符区域重组,将统一字符的断裂部分有效重新拼接在一起后再使用包围圆算法进行分割,可以看出,算法优化后的分割结果明显优于中间侧的分割精度,可以达到铁路货车车号字符的分割要求。



图 9 算法应用结果比较

Fig. 9 Comparison of algorithm application results

## 3 实验结果分析

为了验证文中方法的有效性和鲁棒性,在 Matlab 仿真软件中,选取兰州北编组场采集的图像作为算法输入。整个实验是在操作系统为 Windows10,编程软件为 Matlab R2014b。为使对比效果更为明显,对原始货车图像加入噪声作为实验的测试对象,对文中提出的分割识别方法进行验证,采用字符分割准确率、车号分割准确率作为评价指标。

### 3.1 分割效果评价指标

分割准确的评价标准是观察分割之后字符的完整性。若字符轮廓完整,没有出现缺失也没有增加多余部分,则认为正确分割的字符,字符分割准确率定义为  $A_c$ 。一个车号的所有字符分割准确,没有多余部分,则认为车号分割准确率,定义为  $A_n$ 。

$$A_c = \frac{N_{cc}}{N_c} \times 100\%, \quad (8)$$

$$A_n = \frac{N_{pc}}{N_p} \times 100\%, \quad (9)$$

式中:  $N_{cc}$  为正确分割字符的个数;  $N_c$  为测试图像中车号字符总数;  $N_{pc}$  为正确分割车号图像数;  $N_p$  为测试图像总数。

### 3.2 效果评估

为了验证文中提出分割模型的优越性,实验中将 4 种分割过程进行效果评估,分别是:投影算法<sup>[16]</sup>、连通域算法<sup>[17]</sup>、包围圈分割算法和文中所提的自适应游程处理后的包围圈分割算法。比较结果如图 10 和图

11 所示,文中优化组合的分割算法在字符出现轻度断裂、重度断裂及倾斜、变形等情况下分割准确率优于其他 3 种分割算法,证明文中提出方法具有较好的鲁棒性和更高的实际应用价值。

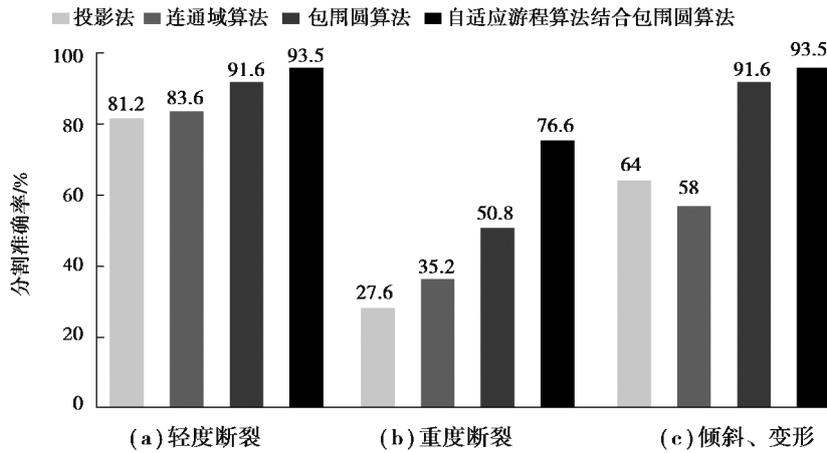


图 10 字符分割效果对比

Fig. 10 Comparison of character segmentation effect of different methods

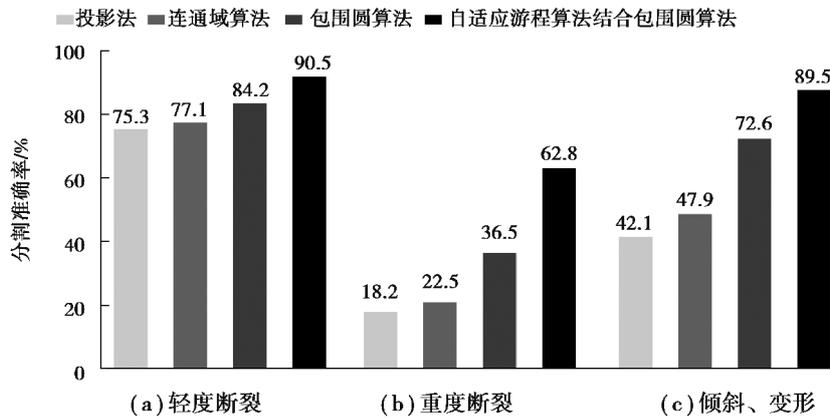
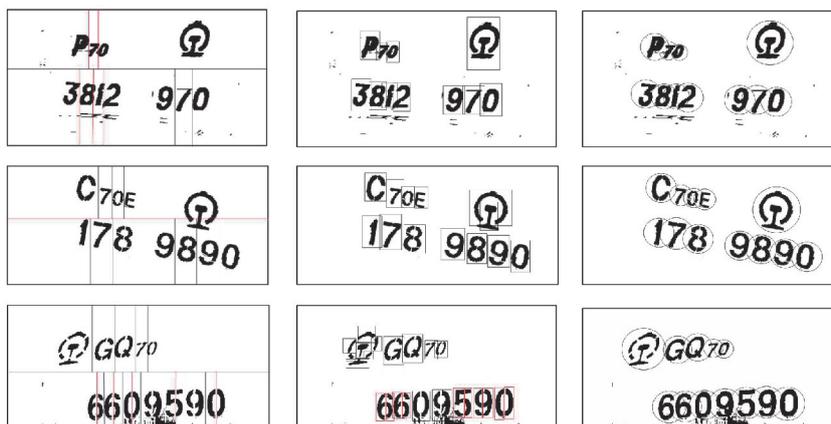


图 11 车号分割效果对比

Fig. 11 Comparison of vehicle number segmentation effect of different methods

使用以上 3 种算法对车号图像进行分割,最终实验结果如图 12 所示。可以看出,基于投影法的分割算法和基于连通域(矩形包围框)的分割算法对于倾斜图像的分割准确率较低,且均对于断裂字符具有较低的分割准确率,受铁路货车车号的断裂特征影响较大。同时,水平放置的矩形框不能精确表达出字符的位置和大小,相对于包围圆算法,会出现更多的背景像素点,影响字符的识别效率。因此,文中方法具有更高的分割准确率和鲁棒性。



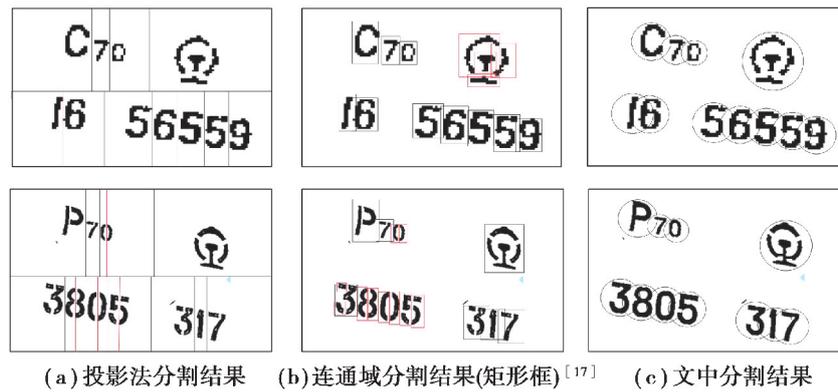


图 12 部分车号图像分割结果对比图

Fig. 12 Comparison of segmentation results of some vehicle number images with different methods

## 4 结束语

1) 文章提出一种基于包围圆的字符分割方法,利用自适应游程算法填充像素,结合货车车号断裂、倾斜、变形等特点进行预处理,实现双行车号的分割和字符断裂消除,并使用包围圆分割方法进行分割。大量实验表明,文中算法相比传统算法具有更优的分割精度和鲁棒性。

2) 自适应游程算法可有效解决图像中字符断裂问题,但因铁路货车车号的断裂程度不一,如何选择动态参数既能消除轻度断裂和重度断裂又不出现粘连成为下一步研究重点。

### 参考文献:

- [1] Yu S S, Chu S W, Chan Y K, et al. Share price trend prediction using CRNN with LSTM structure[J]. Smart Science, 2019, 7(3):189197.
- [2] Padmavathy S, Suresh P. Fetal ultrasound image evaluation of chromosomal anomaly detection and classification using conditional rooted neural network (CRNN) [J]. Journal of Medical Imaging and Health Informatics, 2019, 9 (6): 13071315.
- [3] Tong G F, Li Y, Gao H S, et al. MACRNN: a multiscale attention CRNN for Chinese text line recognition in natural scenes[J]. International Journal on Document Analysis and Recognition, 2020, 23(2): 103114.
- [4] Vučković V, Arizanović B. Efficient character segmentation approach for machinetyed documents[J]. Expert Systems with Applications, 2017, 80: 210231.
- [5] Anupama N, Rupa C, Sreenivasa Reddy P E S. Character segmentation for Telugu image document using multiple histogram projections[J]. Global Journal of Computer Science & Technology, 2013, 13(5): 1015.
- [6] Kapoor S, Verma V. Fragmentation of handwritten touching characters in Devanagari script[J]. International Journal of Information Technology, Modeling and Computing, 2014, 2(1): 1121.
- [7] Zheng L Y, Hassin A H, Tang X L. A new algorithm for machine printed Arabic character segmentation[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(15): 17231729.
- [8] 王俊晓. 基于 LabVIEW 的货车车号识别技术研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2015.  
Wang J X. Research of railway wagon licence recognition technology based on LabVIEW[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2015. (in Chinese)
- [9] Soumya A, Hemantha Kumar G H. Preprocessing of camera captured inscriptions and segmentation of handwritten Kannada text[J]. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 2014, 3 (5): 67946803.
- [10] Mei Y, Wang X H, Wang J. An efficient character segmentation algorithm for printed Chinese documents[C] //

- Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Computer and Information Technology. Daejeon: Science & Engineering Research Support Society Press, 2013, 22: 183189.
- [11] 辛明远. 基于图像处理的机车车号自动采集识别系统的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.  
Xin M Y. Research of locomotive number automatic acquisition and recognition system based on image processing[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2018. (in Chinese)
- [12] 杨谢柳, 牛玺辉, 梁文峰. 面向非规则排列汉字文本的字符分割方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(9): 15421548.  
Yang X L, Niu X H, Liang W F. Character segmentation method for irregularly arranged text in Chinese[J]. Journal of ComputerAided Design & Computer Graphics, 2019, 31(9): 15421548. (in Chinese)
- [13] Nikolaou N, Makridis M, Gatos B, et al. Segmentation of historical machineprinted documents using Adaptive Run Length Smoothing and skeleton segmentation paths[J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(4): 590604.
- [14] 于洋, 孔琳, 虞闯. 自适应粒子群集优化二维 OSTU 的图像阈值分割算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(6): 827832.  
Yu Y, Kong L, Yu C. Image threshold segmentation algorithm based on adaptive particle swarm optimization of twodimensional OSTU[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017, 31(6): 827832. (in Chinese)
- [15] Zheng Y S, Jin Y W, Dong Y. Rail detection based on LSD and the least square curve fitting[J]. International Journal of Automation and Computing, 2021, 18(1): 8595.
- [16] 何耘娴. 印刷体文档图像的中文字符识别[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2011.  
He Yunxian. Chinese character recognition of printed document images[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2011. (in Chinese)
- [17] Liu H, Lu Y. A method to restore Chinese warped document images based on binding characters and building curved lines[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2009: 984990.

(编辑 詹燕平)