

基于蚁群算法的图像重建



田献珍¹ 孙立强² 田振中¹

1 广西科技大学鹿山学院 广西 柳州 545000

2 广西科技大学 广西 柳州 545000

(tianzhen419@126.com)

摘要 借助于计算机将大量规则的文档碎片重建修复,可以极大地提高工作效率,降低人工成本,因此该方面的工作受到学术界的普遍关注。目前,形状规则的英文碎片匹配主要面临3方面的问题:1)碎片特征提取困难;2)拼接效率低;3)拼接精确度低。针对问题一,通过一系列数据统计处理,排除英文字母高低不一的干扰因素,提取每行字符的标准像素高度作为碎片的特征向量;针对问题二,通过建立优化模型,在保证每类碎片个数相同的前提下,使用蚁群算法进行横向快速聚类;针对问题三,通过对字符8邻域内的像素灰度值进行统计,建立两幅碎片的距离函数,并通过蚁群算法进行匹配及精确聚类。最后,以2013年全国高教杯数学建模的B题附件5的碎片为实验对象,验证该方法的可行性和有效性。

关键词: 英文碎纸片;特征向量;蚁群聚类算法;优化模型;距离函数

中图分类号 TP391

Image Reconstruction Based on Ant Colony Algorithm

TIAN Xian-zhen¹, SUN Li-qiang² and TIAN Zhen-zhong¹

1 Lushan College of Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545000, China

2 Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545000, China

Abstract With the help of a computer to rejoin a large number of regular document image fragments, which can greatly improve the efficiency of work and reduce the labor costs. Therefore, it has been paid more and more attention by the academic community. At present, there are three main problems in the matching of English fragments with shape rules, one is the difficulty of fragment feature extraction, the other is the low efficiency of splicing, and the third is the low accuracy of splicing. For the first problem, a series of data statistics is adopted to eliminate the interference factors of the high and low English letters in this paper. For the second problem, ensuring that the number of each type of debris is the same, this paper establishes optimization model and uses Ant Colony algorithm to horizontal fast clustering. For the third problem, this paper sets up the distance function for two pieces by counting character pixel gray values of 8 neighborhoods, and then the ant colony algorithm is used for matching and accurate clustering. Finally, we take the 2013 National higher Education Cup mathematical modeling B as an example to verify the feasibility and effectiveness of the Ant Colony Algorithm.

Keywords English fragments, Feature vector, Ant colony algorithm, Optimization model, Distance function

1 引言

随着经济社会的进步,碎纸机在人们日常工作中被广泛使用。由于某些需要,一份被粉碎的文档需要被复原,若通过人工完成,其工作量会非常大,并且效率很低。随着计算机技术和智能算法的快速发展,利用计算机完成文档重建工作成为了可能。

2 研究现状及问题分析

目前,世界上已经有很多关于借助计算机对破碎文档进行自动修复的研究,这些研究主要分为边界形状不规则

和边界形状规则的碎片重建。

对于边界形状不规则碎片的重建问题,主要通过提取边界几何特征来完成。比如, Liu 等^[1]提出基于 Sobel 算子的提取方法, He 等^[2]提出基于多边形近似的提取方法, Bisw 等^[3]提出基于轮廓编码的提取方法等,但这几种方法并不适用于经碎纸机粉碎出的形状相似的碎片重建问题。

对于边界形状规则的碎片重建问题,根据文字特征的不同,其主要分为中文文字特征和英文文字特征的碎片。针对中文文字特征的碎片重建问题,当前主要思路都是先横向拼接,再纵向拼接。而在横向拼接的过程中,匹配度的选择至关重要。Zhao 等^[4]提出基于边界灰度特征的边缘像素检测,

本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:广西高等教育本科教学改革工程重点项目(2018JGZ160)

This work was supported by the Key Project of Undergraduate Teaching Reform of Guangxi Higher Education (2018JGZ160).

通信作者:孙立强(liqiangsun@126.com)

Liu 等^[6]提出基于边界灰度特征的八连通连续点数匹配方法,但是对于四周空白的碎片,这两种匹配方法只能通过人工干预的方法完成。在匹配算法方面,Liu 等^[5]提出模拟退火机制的优化算法,Zhou 等^[7]提出将相邻碎片的匹配问题转化为旅行商问题的优化算法。对于英文文字特征的碎片重建问题,当前方法主要通过先去除掉英文字母像素高度不一的干扰部分,得到如中文像素高度一致的碎片,再进行匹配。Zhou 等^[7]提出将单个碎片横向相加,统计像素点和的分布,通过观察消除像素点和小于 6 的干扰部分,但是这种做法对于某些字母比如“E”“I”的效果并不是很好。Thiago 等^[8]提出了一种基于数字模拟分解及 OCR 数据库文档训练方案的深度学习方法,但是实验数据规模比较小。

通过对以上研究的分析总结,针对英文文字特征的边界形状规则的碎片重建问题,要提高匹配的精确度,首先需要解决以下 3 个问题。(1)由于获取的英文字符行高标准与否直接影响后续的匹配精度,因此获取标准字符行高的方法至关重要;(2)若能根据字符行高先将碎片进行聚类,那么碎片的匹配空间会大幅缩小,匹配精度和效率也将提升;(3)两个碎片完全匹配的依据。

本文针对上述 3 个问题给出相应的解决方案:(1)选择标准字母高度作为整行字符的高度,再通过修补缺省行得到所有行的标准高;(2)通过改进的蚁群聚类算法缩小碎片的匹配空间;(3)选择特殊的灰度像素判别是否连通,连通则两个碎片匹配,不连通则须给出相应的距离。

3 数据预处理

本文通过对英文字母的统计发现(如图 1 所示):(1)若不计直线上干扰部分,只考虑直线中间的部分,英文字母的高度一般是相同的,这里称之为标准高度;(2)不考虑干扰部分,两行字符间距也是固定的,且段落间距比正常的字符行间距约高 2~3 个像素。

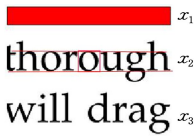


图 1 英文字母标准高度

Fig. 1 Alphabet standard height

数据预处理的具体实现步骤如下。

步骤 1 读取所有图片,并将图片格式转化为二值图,字符的部分为 1,空白的部分为 0。

步骤 2 获取整行的标准高度 h 。

1)统计每个图片中每行字符的起止行数,并找出字母的标准高度 h 。

2)找到每行中每个字母的起止列数。

3)计算每个字母的像素高度。将字母高度为 h 的字母高度作为整行字符的标准高度,比如图 1 第 2 行中,用“o”的高度作为整行的高度;若某行所有字母像素的高度都大于 h ,且“最小上界高-最大下界高= h ”,则以“最小上界高,最大下界高”作为整行的起止高,比如图 1 第 2 行中的“gh”;若“最小上界高-最大下界高 $>h$ ”,则以“最小下界高- h ,最

小下界高”作为整行的起止高。

步骤 3 查找缺省行或由段落间距造成的起止高度异常情况。

步骤 4 修补缺省行,并对段落间距造成的异常情况进行调整。

步骤 5 将起止行间的元素统一为 1,并将此列向量作为每幅图片的特征向量。

通过上述实验可以得到反映碎片特征的一组 n 维列向量,如何将该列向量组进行有效分类是接下来需要解决的问题。

4 基于蚁群算法的横向聚类

蚁群算法是基于蚂蚁的群体合作行为提出的一种随机搜索算法,通过对候选解进行群体进化来寻求最优解。各候选解根据积累的信息不断调整自身结构,并通过信息与其他候选解进行交流,以产生更好的解。

传统蚁群聚类算法中,蚂蚁在路径上留下的信息素不会消散,且蚂蚁沿信息素最大的路径行走。而实际在大自然中,信息素会因时间的推移不断消散,并且当两条路径上残留的信息素相差不大时,蚂蚁并不能准确地找到信息素最大的路径,这是传统蚁群聚类算法出现早熟和停滞现象的两个重要原因。本文提出一种动态信息素挥发策略,并保证蚂蚁搜索路径的多样性,以得到整体最优解。

4.1 数学模型

已知每个碎片的特征向量为 n 维列向量,总的碎片个数为 N ,碎片分类的类别数为 M ,以各类元素到其类中心的距离和作为目标函数,建立如下数学模型:

$$\min J(\mathbf{w}, \mathbf{c}) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N_j} \sum_{p=1}^n w_{ij} |x_{ip} - c_{jp}| \tag{1}$$

$$c_{ij} = \text{round}(\sum_{i=1}^{N_j} w_{ij} x_i / \sum_{i=1}^{N_j} w_{ij}) \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{N_j} w_{ij} = N/M \tag{3}$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若样品 } i \text{ 属于 } j \text{ 类} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{4}$$

其中, $j=1, \cdots, M; i=1, \cdots, N_j; \mathbf{x}_i$ 为第 i 个碎片的特征向量; $\mathbf{c}_j$ 为第 j 个类中心的特征向量。

4.2 蚂蚁的结构

每只蚂蚁都携带 4 个要素:(1)一种可能的解集,存储在 $solution$ 前 N/M 列;(2)一个聚类中心 $center$,包含 M 个 n 维特征向量;(3)类元素的特征向量到其聚类中心特征向量的距离和,存储在 $solution$ 的最后一列;(4)由蚂蚁解集所计算得到的目标函数值 $Jsum$ 。

$$\begin{aligned} m_antCenter(i) = \{ \\ center: [1 \times M \text{ struct}] \\ solution: [M \times (N/M + 1) \text{ double}] \\ Jsum: \text{inf} \\ \} \end{aligned}$$

4.3 局部搜索

这里只对部分解执行局部搜索。在局部搜索前,先把所有解的目标函数值升序排列,再对具有最小目标函数值的前

L 个解进行局部搜索,分以下两步完成。

步骤 1 计算每类中每个元素到各个类中心的距离,选择距离最小的类作为归属类,同时从归属类中选择一个与原归属类中心距离最大的元素作为交换。

步骤 2 重新计算目标函数值,若其比原目标函数值大,则保留原目标函数值及解集;若其比原目标函数值小,则新的目标函数值为最优解,新的解集为最佳解集。

4.4 信息素矩阵

信息素矩阵 τ 是一个 $N \times M$ 的矩阵,初始阶段,图片 i 被分配到第 j 类信息素 τ_{ij} 是相同的,都取为 0.01。在迭代过程中,只利用前 L 个具有最优解的蚂蚁对信息素进行更新。信息素计算公式如式(5)所示:

$$\tau_{ij}(t+1)=(1-\rho)\tau_{ij}(t)+\sum_{k=1}^L\Delta\tau_{ij}^k;i=1,\cdots,N;j=1,\cdots,M$$

(5)

其中, $\rho=\rho_0\left(1-\frac{counter}{iterNum}\right)$ 为动态信息素挥发参数, $counter$ 表示当前迭代次数, $iterNum$ 表示总迭代次数, ρ_0 表示信息素初始挥发参数($0<\rho_0<1$)。信息素更新量 $\Delta\tau_{ij}^k$ 依赖于蚂蚁 k 的目标函数值 J_k , 且 $\Delta\tau_{ij}^k=\frac{Q}{J_k}$, Q 为常量。

4.5 蚁群的更新

蚁群的更新主要依赖于信息素,更新的方式有两种,这两种方式的切换由固定值 q_0 决定。

若随机数 $q<q_0$, 则执行第一种更新方式。从与该碎片具有最大信息素的前两类中随机选择一类作为最新归属类, 并从最新归属类中选择一个与原归属类具有最大信息素的碎片作为交换, 以保证每类中的元素有 N/M 个, 这种方式有助于快速找到最优解。

若随机数 $q\geq q_0$, 则执行第二种更新方式。根据转换概率 p_{ij} 选择碎片要归属的类, 并从归属类中随机选择一个元素作为交换。其中, $p_{ij}=\tau_{ij}/\sum_{l=1}^M\tau_{il}(j=1,\cdots,M)$ 。这种方式主要用于随机开发新的解集。

5 基于蚁群算法的同类匹配

前面第 4 节已经对碎片进行了聚类, 如何对同类碎片进行匹配是最后需要解决的问题。

首先, 需要建立反映相邻碎片距离的函数。由于储存成灰度值的字符类文档, 字符越靠近笔画中心, 像素越接近 0, 越靠近两边的像素越接近 255, 因此我们对中心灰度值为 0、中心灰度值小于 255 且大于 200 和中心灰度值大于 0 且小于等于 200 的 3 类灰度值的 8 邻域内的像素进行统计, 最后根据统计概率以及相邻碎片 X_i 和 X_j 像素的高度建立距离函数 $d(X_i, X_j)$ 。

$$d(X_i, X_j)=\begin{cases} 40, & X_{ir}, X_{jl} \text{ 像素被拒绝} \\ 1.01-\text{corrcoef}(X_{ir}, X_{jl}), & X_{ir}, X_{jl} \text{ 像素被接受} \\ num_{\text{左空白}}+num_{\text{右空白}}, & X_{ir}, X_{jl} \text{ 像素全为 255} \end{cases}$$

(6)

其中, X_{ir} 表示左边碎片 X_i 的右边界灰度向量, X_{jl} 表示右边

片 X_j 的左边界灰度向量, $num_{\text{左空白}}$ 表示左边碎片右边界像素为 255 的像素列数, $num_{\text{右空白}}$ 表示右边图片左边界像素为 255 的像素列数。

6 实验步骤及结果

本文以 2013 年全国高教杯数学建模竞赛 B 题 418 个英文碎片为实验对象, 对上述方法的聚类匹配效果进行验证。

实验 1 处理数据, 提取碎片特征。

如图 1 所示, 取 (x_1, x_2, x_3) 作为每个片的重心, 其中 $x_i=(\text{第 } i \text{ 行起始数}+\text{第 } i \text{ 行终止数})/2$, 容易得到 418 个片的重心空间分布情况, 如图 2 所示。从图 2 中可以清晰地看到 418 个碎片大体被分为 6 大类, 但是被修复的文档是被割成 22 条, 所以图 2 中的点集还需要进行更精确的分类。

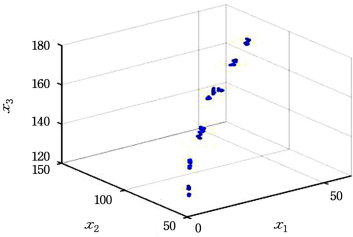


图 2 418 个片的重心分布图

Fig. 2 Center of gravity distribution of 418 fragments

实验 2 通过改进蚁群算法进行聚类分析。

输入: $(antNum, iterNum, L, jp, \rho_0)$ 。

输出: $(Jsum, center, solution)$ 。

(1) 初始化蚁群参数, 见表 1。

表 1 蚁群聚类算法的参数设置

Table 1 Parameter setting of ant colony clustering algorithm

说明	符号	取值
蚂蚁数目	$antNum$	300
迭代次数	$iterNum$	300
转换规则参数	L	0.5
信息素蒸发参数	ρ_0	0.2
局部搜索阈值	jp	0.5

(2) 初始化信息素矩阵——一个 418×22 的矩阵。

(3) 所有蚂蚁根据信息素矩阵构建解集。

(4) 计算各聚类中心; 计算每只蚂蚁的目标函数, 并将蚂蚁按目标函数值排序。

(5) 在排序后的蚂蚁解集中, 对前 L 个蚂蚁实施局部搜索操作, 得到新的解集, 并重新计算聚类中心。

(6) 按式(5)更新信息素值。

(7) 如果没有达到最大迭代次数, 则转步骤(3), 否则输出最优聚类解集。

对 418 个碎片进行聚类的结果如表 2 所列, 容易看出首行像素高为 19~43 和 31~55 的位置都聚集有 57 个碎片, 也就是说各有 3 类混在一起; 首行像素高度为 9~33 和 1~12 的位置都聚集有 38 个碎片, 各有 2 类混在一起; 除上述 4 类碎片很难做到精确聚类外, 其他类的碎片都能达到精确聚类。另外, 目标函数值与迭代次数的关系如图 3 所示, 可以看出目标函数值可以快速取到最优解 179.0568, 说明该聚类方法是可行且高效的。

表 2 聚类与匹配后结果
Table 2 Results of clustering and matching

类号	类解集	首行高度
1	146a 171b 031a 201a 050a 190b 092b 019b 016b 177b 053b 202a 021b 130a 163a 193b 073b 169b 035a	1~13
2	035b 159b 073a 193a 163b 130b 021a 202b 053a 177a 016a 019a 092a 190a 050b 201b 031b 171a 146a	1~14
3	005b 152b 147b 060a 059b 014b 079b 144b 120a 022b 124a 192b 025a 044b 178b 076a 036b 010a 089b	1~21
4	089a 010b 036a 076b 178a 044a 025b 192a 124b 022a 120b 144a 079a 014a 059a 060b 147a 152a 005a	1~21
5	165b 195a 128a 157a 168a 046a 067a 063b 075b 167a 117b 008b 068b 188a 127a 040a 182b 122a 172a	1~23
6	172b 122b 182a 040b 127b 188b 068a 008a 117a 167b 075a 063a 067b 046b 168b 157b 128b 195b 165a	1~24
7	186b 153a 138a 056b 131b 187b 086b 061b 137b 045a 084b 042b 030a 038a 121a 098a 094b 200b 143b	7~31
8	003b 004a 069a 032a 074b 126b 176a 185a 000b 80b 027a 135b 007b 85b 077a 148b 141a 204b 105a	8~32
9	199b 011b 161a 169b 194b 173b 206b 156b 034a 181b 198b 087a 132b 093a 072b 175a 097a 039b 083a	16~41
10	088b 107a 149b180a 037b 191a 065b 115b 166b 001b 151b 170b 041a 070b 139b 002a 162b 203b 090a	30~54
11	114a 184b 179b 116b 207a 058b 158a 197a 154b 028b 012a 017b 102b 064b 208a 142a 057a 024a 013a	39~64
12	013b 024b 057b 142b 208b 064a 102a 017a 012b 028a 154a 197b 158b 058b 207b 116a 179a 184a 114b	41~65
13	023b 133a 048a 051b 095a 160b 119a 033b 071b 052a 062a 129b 118b 101a 015b 205a 082b 145a 009b	19~43
14	083b 039a 097b 175b 072a 093b 132a 087b 198a 181a 034b 156b 206a 173a 194a 169a 161b 011a 051a 048b 133b 023a	19~43
15	009a 145b 082a 205b 015a 101b 118a 129a 062b 052b 071a 033a 119b160a 095b 199a	19~43
16	090b 203a 162a 002b 139a 070a 041b 170a 151a 001a 166a 115a 065a 191b 037a 180b 149a 107b 088b	31~55
17	099a 043a 96b 109a 123a 006a 104a 134a 113a 026b 049b 091a 106b 100b 055b 103a 112a 196b 054b	31~55
18	049a 026a 113b 134b 104b 006b 123b 109b 096a 043b 112b 103b 055a 113a 106a 196a 134b 104b 099b	31~55
19	105b 204a 141b 135a 027b 080a 000a 185b 176b 126a 174a 032b 069b 004b 077b 148b 085a 007a 003a	9~33
20	131a 056a 138b 045b 137a 200a 086a 187a 143a 061a 094a 098b 121b 038b 030b 042a 084a 153b 186a	9~33
21	078b 111b 125b 140a 155a 150a 183b 174b 110a 066a 108a 018b 029a 189b 081b 164b 020a 047a 136b	1~12
22	066b 110b 174a 183a 150b 155b 018a 108b 081a 189a 029b 136a 136a 047b 020b 164a 140b 125b 111a 078a	1~12

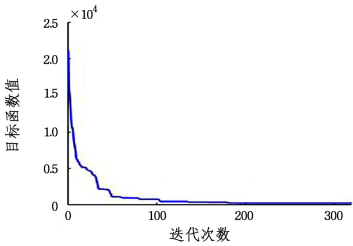


图 3 目标函数值与迭代次数的关系曲线
Fig. 3 Relationship between the value of the objective function and the number of iterations

实验 3 通过蚁群算法进行匹配。

通过统计文档碎片 8 邻域内的灰度值, 容易发现, 以 0 为中心的 8 邻域内的灰度值小于 255 像素的个数介于 8~9 的概率为 99.74%, 若小于 8 个, 则直接拒绝, 根据式(6)建立距离函数。实验过程如下:

输入: $antNum, iterNum, \alpha, \beta, \rho$ 。

输出: $Jsumk, solutionk$ 。

(1)初始化蚁群参数, 如表 3 所列。对于信息素矩阵, 初始时刻各路径上的信息素相等, 设为 $\tau_{ij}(0)=0.01$ 。

表 3 蚁群匹配算法的参数设置

Table 3 Parameter setting of ant colony matching algorithm

说明	符号	取值
蚂蚁数目	$antNum$	80
迭代次数	$iterNum$	80
参数	α	0.3
参数	β	0.7
信息素蒸发参数	ρ	0.2

(2)所有蚂蚁根据前面蚂蚁信息素矩阵与下一个预匹配碎片的距离选择路径 $solutionk$ 。第 k 只蚂蚁从碎片 i 转移到碎片 j 的概率 $p_{ij}^k(t)$ 为:

$$p_{ij}^k(t)=\begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)}{\sum_{S\in allowed_k}\tau_{ij}^{\alpha}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)}, & S\in allowed_k \\ 0, & S\notin allowed_k \end{cases} \tag{7}$$

其中, $allowed_k$ 表示蚂蚁下一步可以选择的路径的集合; $\tau_{ij}(k)$ 表示碎片 i 和碎片 j 之间的信息素浓度; $\eta_{ij}(t)$ 表示碎片 i 和碎片 j 之间的启发信息素, 一般取 $\eta_{ij}(t)=1/d(X_i, X_j)$ 。参数 α 和 β 反映的是蚂蚁在移动过程中信息素和距离在蚂蚁选择路径中的重要性, 这里取 $\alpha+\beta=1$ 。

(3)根据 $\tau_{ij}(t+1)=(1-\rho_0)\tau_{ij}(t)\Delta\tau_{ij}^k$ 对完成一次循环的蚂蚁更新信息素, 其中 $\Delta\tau_{ij}^k=Q/L_k$, L_k 为第 k 只蚂蚁在本次循环中经过碎片的距离之和, Q 取为常数 $Q=0.1$ 。

(4)对每只蚂蚁所经路线的距离和做出评价。

(5)若没有达到最大迭代次数, 则转步骤(3), 否则输出最优路线。

按照上述流程对前面聚类结果进行匹配, 结果如表 2 所列。容易看出, 第 1~12 类都达到了精确匹配; 首行像素高度为 31~55 和 19~43 的 57 个碎片可以通过匹配进行分类, 精度分别为 96.5% 和 92.1%; 首行像素高度为 9~33 和 1~12 的 38 个碎片通过匹配分类的精度为 94.7%, 约有两个碎片不能达到精确匹配, 需要人工干预。

结束语 针对形状规则的大规模英文文档碎片重建的问题, 本文利用英文字符的特点, 消除掉字母高度不一的影响, 得到反映字母高度的标准高度; 利用改进的蚁群聚类算法, 在保证每类个数相同的基础上达到最佳分类效果; 针对有些类别字母高度一致, 导致不能精确分类的问题, 通过建立距离函数, 利用蚁群算法进行匹配, 再根据匹配度对前面同类中的碎片进行再次分类与匹配, 最后达到整体 92% 以上的匹配精度。不能实现完全自动化重建的碎片主要是由于字母和词义识别错误等问题造成的, 如果能进一步解决这一系列识别问题, 那么该方法会有很高的实用价值。

参 考 文 献

[1] LIU J G, WU Z P, LIU S Q, et al. A merging algorithm for images based on segmentation of feature regions[J]. Journal of Xidian University, 2002, 29(6): 768-771.

[2] HE P F, ZHOU Z T, HU D W. Reconstruction of the Ripped-

Up Documents Based on Ant Colony Optimization[J]. Computer Engineering & Science,2011,33(7):67-73.

[3] BISWAS A,BHOWMICK P,BHATTACHARYA B B. Recon- struction of torn documents using contour maps[C]// Proceed- ings of the 2005 IEEE International Conference on Image Pro- cessing. Piscat away:IEEE,2005,3:517-520.

[4] ZHAO K Y,SHU Y,DUAN X. Re-assembly algorithm of frag- ments based on literal characteristics of scrapped paper[J]. Journal Computer Applications,2014,34(S2):271-273,309.

[5] LIU Q J,CHEN P,WANG Z Y. Algorithm Design on Scraps of Paper Splicing Based on Text Feature[J]. Research and Explor- ation in Laboratory,2016,35(11):110-113.

[6] LIU Q J,YU J X,WANG Z Y. Algorithm Design on Scraps of Paper Splicing Based on Grey Level[J]. Research and Explora- tion in Laboratory,2016,35(7):16-19.

[7] ZHOU Y F,WANG S J,HUANG Y B. Double—sided shreds restoration based on English letters feature[J]. Journal of Image and Graphics,2015,20(1):85-94.

[8] PAIXAO T M,BERRIEL R F,BOERES M C S,et al. A deep learning-based compatibility score for reconstruction of strip- shredded text documents[C]// 31st SIBGRAPI Conference on Graphics,Patterns and Images (SIBGRAPI). 2018.



TIAN Xian-zhen, born in 1982, post- graduate. Her main research interests include numerical method of differential equation and pattern classification.



SUN Li-qiang, born in 1981, postgradua- te. His main research interests include numerical method of differential equa- tion and pattern classification.

(上接第 218 页)

能,选择最适合本文任务的输入图片,通过对比实验验证本文所提算法的优越性。结合高铁白车身焊接拼装技术的智能化与自动化应用,本文方法具有一定的实际工程应用价值。

参 考 文 献

[1] YANG S Y. Image recognition and project practice;VC++ and MATLAB technology implementation [M]. Electronic Industry Press,2014.

[2] KRIZHEVSKY A,SUTSKEVER I,HINTON G. Image Net Classification with Deep Convolutional Neural Networks[J]. Advances in neural information processing systems, 2012, 25(2):1097-1105.

[3] LECUN Y,KAVUKCUOGLU K,et al. Convolutional Net- works and Applications in Vision[C] // Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2010.

[4] LIN T Y,GOYAL,PRIYA,et al. Focal Loss for Dense Object Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Ma- chine Intelligence,2020,42(2):318-327.

[5] PAN S J,YANG Q. A Survey on Transfer Learning[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2010, 22(10):1345-1359.

[6] YUAN C L,XIONG Z L,ZHOU X H,et al. Research on image edge detection based on Sobel operator [J]. Laser and Infrared, 2009,39 (1):85-87.

[7] BAKER L,MILLS S,LANGLOTZ T,et al. Power line detection using Hough transform and line tracing techniques[C]// Inter- national Conference on Image and Vision Computing New Zea- land. IEEE,2017:1-6.

[8] YE H,SHANG G,WANG L,et al. A new method based on

hough transform for quick line and circle detection[C]// Inter- national Conference on Biomedical Engineering & Informatics. IEEE,2016:52-56.

[9] MAO X Y,LENG X F,et al. Introduction to Opencv3 program- ming [M]. Beijing:Electronic Industry Press,2015.

[10] SIMONYAN K,ZISSERMAN A. Very Deep Convolutional Net- works for Large-Scale Image Recognition[J]. arXiv:1409. 1556.

[11] DENG J,DONG W,SOCHER R,et al. ImageNet:A large-scale hierarchical image database[C]// CVPR. 2009:248-255.

[12] LI J,MEI X,PROKHOROV D. Deep Neural Network for Struc- tural Prediction and Lane Detection in Traffic Scene[J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2016, 28(3):690-703.

[13] ZHENG Z Y,LIANG B W,GU S Y,et al. TensorFlow combat Google deep learning framework(Second Edition) [M]. Beijing: Electronic Industry Press,2017.



CHEN Jian-qiang, born in 1995, post- graduate. His main research interests include computer vision and so on.



QIN Na, born in 1978, Ph.D, associate professor, Ph.D supervisor. Her main research interests include machine vi- sion and intelligent image processing.