

Scraps of Paper Splicing Recovery Model

Jihua Li, Xinfeng Kong, Chunmei Fu

College of Science, Shandong Jiaotong University, Jinan

Email: 823850453@qq.com

Received: Dec. 30th, 2013; revised: Jan. 13th, 2014; accepted: Jan. 22nd, 2014

Copyright © 2014 Jihua Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Jihua Li et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: The main purpose of this paper is to explore how the paper scraps of neat edges could be restored. First, we can obtain the paper scraps of neat edges after cross cut and then length cut. With the help of the image-processing software, Matlab, we can transfer the images into corresponding matrix, and then binarize the matrix and get the 0-1 matrix. We classify the paper scraps with the same location features using cluster analysis. Then we match the first column and the last column in certain pixel matrix with the corresponding columns in other pixel matrix based on the edge matching. According to the edge matching, we determine the order of the pictures, splice them and then check them with necessary manual adjustment, so we get the transverse paper. Finally, the same method can be applied to the transverse paper while we match the lines instead of the columns and then we get the restored paper after manual adjustment.

Keywords: Matlab; Binarization Processing; 0-1 Matrix; Cluster Analysis; Edge Matching; Manual Intervention

碎纸片拼接复原模型

李继华, 孔新峰, 付春梅

山东交通学院理学院, 济南

Email: 823850453@qq.com

收稿日期: 2013年12月30日; 修回日期: 2014年1月13日; 录用日期: 2014年1月22日

摘要: 本文的主要目的是探究怎样对边缘规则的碎纸片进行快速拼接复原。首先针对以先横再纵的方式切割得到边缘整齐的碎纸图片, 使用 Matlab 软件图像处理功能把图像转化为相应的数值矩阵, 再对得到的数值矩阵元素进行二值化处理得到 0-1 矩阵。应用聚类分析法将具有相同位置特性的碎纸片归类为一组, 再将某个图片像素点矩阵中的第一列和最后一列与其他图片像素点矩阵的第一列和最后一列进行边缘匹配, 根据边缘匹配度来确定复原图片顺序, 再根据边缘匹配度将他们连接、检查并做人工干预可得拼接后的横行纸片, 最后将横行纸片的长边用同样的方法做边缘匹配可将行与行之间拼接起来, 再做人工调整得到最优结果。

关键词: Matlab; 二值化处理; 0-1 矩阵; 聚类分析; 边缘匹配; 人工干预

1. 引言

破碎文件的拼接在司法物证复原、历史文献修复以及军事情报获取等领域都有着重要的应用。企事业单位、机关、院校和军队基于保密的需要, 使用碎纸机对重

要文件, 单据以及材料进行销毁。一些重要的文件随着时间流逝, 残破不全, 因此, 又需要将已经破碎的文档重新恢复。

传统上, 拼接复原工作需由人工完成, 准确率较

高,但效率很低。特别是当碎片数量巨大,人工拼接很难在短时间内完成任务。随着当代科技和计算机技术的快速发展,人们试图开发碎纸片自动拼接技术,以提高对碎纸片文件和图片的拼接复原效率。

国内一些学者对碎纸片复原技术进行了研究,其中周丰提出了一种基于序列的二维图像碎纸片轮廓匹配算法^[1],何鹏飞研究了基于蚁群优化算法的纸片拼接技术^[2],罗智中^[3]研究了基于文字特征的文档碎纸片半自动拼接方法,除此之外学者们还提出并研究了其他各种相应的技术^[4-10]。然而目前通过计算机算法对破碎文档进行恢复的技术研究还不多,基本上没有一种全自动的碎纸片恢复技术,因此,一种能够快速且高效的恢复碎纸机数据文档技术的研究有巨大的现实意义。本文在借鉴其他学者研究基础上,对边缘规范的碎纸片拼接技术进行了研究。

2. 模型假设及符号说明

2.1. 模型假设

- 1) 设碎纸图片与真实文件纸张大小、颜色、边缘情况相同;
- 2) 假设碎纸照片边缘完整,不存在破损;
- 3) 假设所有碎纸片的扫描情况相同;

2.2. 符号说明

- A_i —— 编号 i 的图片的灰度矩阵;
 B_i —— 编号 i 的图片二值化处理后矩阵;
 C_i —— 编号 i 的图片二维边缘矩阵;
 D, D', D'', D''' —— 边缘匹配度矩阵;
 E_i —— 编号 i 的图片再次处理后的 0-1 矩阵;
 F —— 边缘匹配度之和矩阵。

3. 问题分析

3.1. 中文碎纸片的分析

本论文数据来源于 2013 年全国大学生数学建模试题 B 题附件 3、4,碎纸片均为一份纸张撕裂所得,不会存在含有相同信息的公共部分,下面不再重述。

附件 3、4 中所给的图片为扫描原纸张碎片后得到的 BMP 格式的图片,图片像素均为 180×72 ,使用 matlab 中的 `imread` 函数^[11,12]可做出图片的灰度矩阵 $A_i (i = 1, 2, \dots, 209)$ 。举例如下(由于该像素图片转换后

为 180×72 的矩阵,论文中无法放置,所以仅简单举例说明,论文中若还出现庞大的矩阵,同本说明):

$$A_i = \begin{pmatrix} 255 & 255 & 0 \\ 255 & 220 & 150 \\ 255 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

矩阵的中元素表示该位置图片灰度,255 表示为白,0 为黑,图片中信息为黑白文字信息,但由于文字信息会存在阴影,所以矩阵中出现了介于 0-255 的元素。为了方便应用,可对黑白图片做^[13]二值化处理,将上例中 A_i 转化为如下 0-1 矩阵:

$$B_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

其中白色用 0 值表示,非白色用 1 表示。

将附件 3、4 中 11×19 张图片做如上处理得 0-1 矩阵 $B_i (i = 1, 2, \dots, 209)$,矩阵阶数为 180×72 。

分别提取 B_i 矩阵第 1 列和第 72 构成新的 180×2 阶边缘矩阵。搜索所有图片矩阵发现 C_{14}, C_{128} 矩阵中均有一列为 0,可认为编号为 014 和 128 的图片为相邻的两张图片,两张图片匹配的原则示例如图 1。

将左边矩阵的第二列元素与右边矩阵的第一列元素进行两两匹配,记录元素相同的个数,个数除以 180 为左边矩阵第二列对右边矩阵第一列的边缘匹配度,记为:

$$D_{ij} = \frac{\text{元素相同的数量}}{180}$$

定义: $D_{ij} = \frac{\text{匹配数}}{180}$ —— 矩阵匹配度

将所有碎纸片的 0-1 矩阵做如上匹配过程,可依次选取与其匹配的碎纸片。图 1 中左边矩阵第一列与右边矩阵第二列匹配的原则同上。

将附件 3 和附件 4 中各自的 209 碎纸片做同样的图像处理转化为灰度矩阵后进行二值化处理得到与其相对应的矩阵,根据结果可知图片转化后的矩阵为 180×72 阶的,若使用边缘匹配的方法,一张碎纸片对应其他 208 张碎纸片的边缘匹配相同的像素点有 208 种情况,变化范围为 0-180 可知若直接采用边缘匹配中的方法得到的结果可能出现多个相同或无法判断的情况,所以这里我们先考虑附件中碎纸片的特

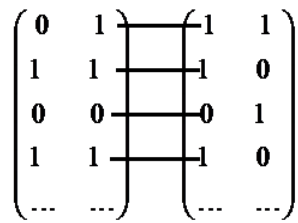


Figure 1. The matching diagram of 014 and 128 two images
图 1. 014 与 128 两张图片的匹配示意图

性。

观察图 2 发现，通过查阅资料分析^[3]基于文字特征的文档碎纸片半自动拼接，每一行的绝大多数中文字均均可认为拥有同一上界、同一下界(图 2 最右端出现了“一”字，但是同行还存在其他文字，可认为同一行文字有同一上界与同一下界)，我们可以根据这一特性，利用聚类分析^[4]方法并使用 Matlab 软件将匹配度高及位置相同的碎纸片归类为一组^[3]。

利用聚类方法归类步骤：

1) 搜索每一张碎纸片转化后二值化矩阵 C_i 的每一行，若矩阵该行中存在数值 1，则将该行全部赋值为 1，若这一行元素全为 0，则将该行全部赋值为 0，其中 1 表示本行存在灰度小于 255 的像素，0 表示不存在灰度小于 255 的像素，这样将 209 张碎纸片做出新的二值化矩阵 E_i ；

2) 同 3.1 的分析取边缘做边缘匹配得修改后的边缘匹配度矩阵 D ，匹配度高则说明碎纸片的文字信息处于同一水平位置，见图 2；

3) 在 2) 完成后如果未完全匹配，则进行再人工干预，得到较优的结果^[11]见图 3。

4) 得到很多组有相同位置的碎纸片后，在每一组内采用边缘匹配方法，这里为了防止出现两白边匹配造成碎纸片连接混乱的现象，要加以限制。方法为：若在组内做边缘匹配出现匹配度为 1 的情况，则暂时不连接此碎纸片，从剩余的碎纸片出发做边缘匹配与其他碎纸片连接，直到组内所有碎纸片均已覆盖。

5) 这样再通过一定人工干预可以得到拼接复原后的 11 横行碎纸片，再同样使用边缘匹配方法，将得到的 11 行碎纸条长边进行边缘匹配做出 11×11 的匹配度矩阵后找最大匹配度作为连接的碎纸条^[15]，同样为了防止出现两白边匹配造成碎纸片连接混乱的现象，要加以限制。方法为：若在组内做边缘匹配出

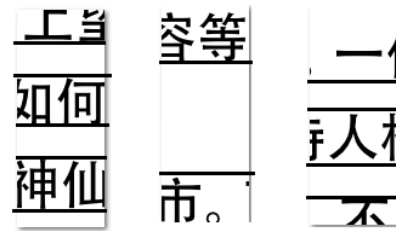


Figure 2. The images after handling
图 2. 处理后的图片



Figure 3. The images after secondary handling
图 3. 二次处理后的图片

现匹配度为 1 的情况，则暂时不连接此碎纸片，从剩余的碎纸片出发做边缘匹配与其他碎纸片连接，直到 11 张拼接后的碎纸片均已覆盖。最后加以人工处理，得到完整的原文件。

3.2. 英文碎纸片的分析

碎纸片的英文在位置上也有一定的规则可循。如图 4。

可以发现英文字母的主要的部分拥有同一上界和同一下界，但是跟中文不同，英文中会出现一些“y”、“d”之类的字母，为了同样使用 3.1 中的方法我们通过观察附件 4 中图片的像素情况，将图片中每一行中黑色像素数少于 13(该值的选取是为了方便二值化转化，也可以选取别的数字)的及字母的次要部分转变为二值化矩阵中的 0，将每一行中黑色像素大于等于 13 的及字母的主要部分转化为二值化矩阵中的 1，这样得到的新的二值化矩阵 E_i ，可认为图像转变为下图 5 表示的方式，同样使用 3.1 中的分析方法将新的二值化矩阵做边缘匹配，匹配度高的可认为两碎纸片在原纸张中位于同一行，把匹配度高于 0.9 的元素分为一组后，对每一组进行边缘匹配。

考虑英文字符的情况，在 3.1 基础上，对组内图片原始二值化矩阵边缘匹配度矩阵 D 每一行的搜索，若矩阵的任意一行中出现匹配度大于 0.9 的元素个数超过 2 个，则加以人工干预，根据文章的格式、内容选择应该连接的碎纸片，其他过程同 3.1，区别仅为本文中需要对软件执行过程进行人工干预。

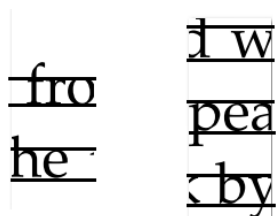


Figure 4. Demonstrates picture 1
图 4. 演示图片 1

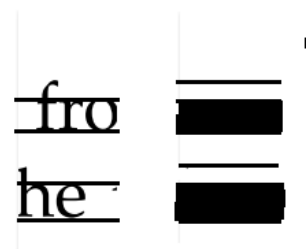


Figure 5. Demonstrates picture 2
图 5. 演示图片 2

4. 模型的建立与求解

4.1. 中文碎纸片复原的模型建立与求解

搜索每一张碎纸片转化后的 0-1 矩阵 C_i 的每一行，若存在黑色即矩阵该行中存在数值 1，则将该行全部赋值为 1，若这一行不存在黑即此行元素全为 0，则将该行全部赋值为 0，这样将 209 张碎纸片做出新的二值化矩阵 E_i ，之后按照 3.1 中的定义做边缘匹配，做出矩阵大小为 209×209 边缘匹配度矩阵 D (由于矩阵太大，在论文中不给出)，元素 D_{ij} 为处理后的碎纸片边缘二值化矩阵 i 的第二列与处理后的碎纸片边缘二值化矩阵 j 第一列的边缘匹配度，匹配度高则说明碎纸片的文字信息处于同一水平位置。在矩阵 D 中每一行选取匹配度大于 0.9 的元素，进行统计分组，可得结果如表 1。

可以看出在取匹配度为 0.9 及以上时，分出了 20 个组，其中组内元素最多的为 19，组内元素最少的为 1。而最后的结果应该为 11 行，我们需要对这些组中的元素进行合并后得到 11 行，所以我们要先考虑元素数量为 19 的组，再考虑其他元素数多的组，对组内图片进行 3.1 中的边缘匹配，匹配后的结果在与元素数少的组做匹配与人工处理。

以第 2 组为例，该组包含 19 个元素，对于组内的 19 个元素的原始二值化矩阵进行上述中的边缘匹

Table 1. Grouping
表 1. 分组情况

分组	碎纸片编号									
1	0	7	45	53	68	126	137	138	158	174
	175	208								
2	1	18	23	26	30	41	50	62	76	
	86	87	100	120	142	147	168	179	191	195
3	2	11	22	28	49	54	57	65	91	95
	129	141	143	178	186	188	190	192		118
4	3	12	31	39	51	73	82	107	115	128
	134	135	159	160	169	176	199	203		
5	4	40	101	108	113	114	117	119	123	
	140	146	151	154	155	185	194	207		
6	5	10	29	37	44	48	55	59	64	75
	98	104	111	171	172	180	201	206		92
7	6	19	20	36	52	61	63	67	69	72
	79	96	99	116	131	162	163	177		78
8	8	9	25	74	105					
9	182	13								
10	15	17	33	80	83	132	133	156	198	200
	202									
11	16	21	66	106	109	110	139	145	150	
	157	173	181	184	187	197	204			
12	24	35	38	46	81	88	103	122	130	
	148	161	167	189	193					
13	27	60	85	152	165	170	205			
14	32	56	70	93	153	166	196			
	34	42	43	47	58	77	84	90	94	
15	97	112	121	124	127	136	144	149	164	183
16	14									
17	71									
18	89									
19	102									
20	125									

配，通过结果观察本题模型第一步确定模型的可行性，其他的组的处理情况相同，不再重述。结果如表 2。

分别复原得到图片，观察图 6、图 7。

对于第二问中文碎纸片的复原问题，通过上面的结果发现匹配结果较好，对于中文的碎纸片的拼接复原即使过程中未加入人工干预也可以得到较优的结果。

可发现该组中文字位置符合想象，及同一行中的文字拥有同一上界和同一下界，在这一组中 Matlab 软件很好的将碎纸片拼接出来，思考为什么会出现在上面图 6、图 7 两者不能匹配在一起的原因。可发现拼

Table 2. Internal group
表 2. 内部分组

序号	分组
2	062-142-030-041-023-147-191-050-179-120-086-195-026-0 01-087-018 168-100-076

可忘忧。一任刘玄德，相对卧高楼。记取西湖西畔，正暮山好
处，空翠烟霏。算诗人相得，如我与君稀。约他年、东还海道，愿谢公、雅
而相别，不应回首，为我沾衣。对酒当歌，酹泪洒。微冷，山头

Figure 6. The second set of splice results (1)
图 6. 第二组拼接结果(1)

扶我，惟酒
处，空翠烟
去昔相注

Figure 7. The second set of splice results (2)
图 7. 第二组拼接结果(2)

接复原后的图 6、图 7 左右两侧均存在白边，仅用计算机无法识别两者先后，需加以人工干预，通过对文章的内容、结构、形式的观察人工拼接，得出结果。改进后的图片排序见表 2，复原图片见图 8。

通过结果可以发现拼接程度较好，所以也验证了本问题中碎纸片拼接复原模型可行性。

其他组做相同处理，这样可得到拼接好的 11 横行的碎纸条，对 11 横行的碎纸条的长边进行边缘匹配，建立新的边缘匹配矩阵，结果如表 3。

以上做出的表格把一些横行碎纸片拼接在一起，未能拼接的原因是由于拼接后的横行碎纸片两端都存在白边，计算机无法做出顺序的判断，所以我们要根据文字内容、规格、形式等因素人工将它们结合起来，人机结合后的原文件以表 4。

观察发现拼接复原后结果较好。

4.2. 英文碎纸片复原的模型建立与求解

搜索每一张碎纸片转化后的 0-1 矩阵 C_i 的每一行，若存在黑色像素数量大于等于 13 即矩阵该行中数值 1 的数量大于等于 13，则将该行全部赋值为 1，若这一行黑色像素数量小于 13，则将该行全部赋值为 0，这样将 209 张碎纸片做出新的二值化矩阵 E_i ，之后同 4.1 的求解过程做边缘匹配，做出矩阵大小为 209×209 边缘匹配度矩阵 D (由于矩阵太大，在论文中不做出)，

扶我，惟酒可忘忧。一任刘玄德，相对卧高楼。记取西湖西畔，正暮山好处，空翠烟霏。算诗人相得，如我与君稀。约他年、东还海道，愿谢公、雅
去昔相注 而相别 不应回首 为我沾衣 对酒当歌 酹泪洒 微冷 山头

Figure 8. The second set of results after splicing human intervention

图 8. 人工干预后第二组拼接结果

元素 D_{ij} 为处理后的碎纸片边缘二值化矩阵 i 的第二列与处理后的碎纸片边缘二值化矩阵 j 第一列的边缘匹配度，匹配度高则说明碎纸片的文字信息处于同一水平位置。同样在矩阵 D 中每一行选取匹配度大于 0.9 的元素，进行统计分组。

在这里需要强调的是，若分完组后的组内元素进行 4.1 中的边缘匹配进行残片复原，小组成员发现结果十分的不理想，任举一例，见图 9。

根据图 9 可以发现对于本文中的英文残纸片的文字信息主要内容处于相同水平位置，文字信息处于同一水平位置，结合 4.1 可以认为首先判断文字信息未知的方法是正确的。但是组内英文碎纸片的拼接复原程度结果差，图中部分碎纸片得到了复原，而大部分却进行了错误的拼接。对比 4.1 的中文复原结果，可以认为英文相对中文会有一定的特殊性。

分析产生问题的原因，由于碎纸片的连接是按照组内图片两两边缘匹配的大小来决定的，发生如图的情况说明：实际的对应的碎纸片的边缘匹配度一般在 0.9 以上，英文碎纸片实际对应的碎纸片的边缘匹配度会出现比其他碎纸片的边缘匹配对小的情况。面对这种问题，我们需要对检测边缘匹配度的程序的过程进行人工干预，方法为：其他图片对当前图片的边缘匹配度若出现两个及两个以上大于 0.9 的匹配度，则进行人工干预，根据文章的内容、格式等进行人工拼接复原，其他步骤同 4.1。对于本文中对于英文碎纸片的拼接复原问题可用图 10 的流程图表示。

通过上述步骤可一把相同行的纸片先拼接好，得到新的 11 张横行碎纸片，这里拼接 11 张碎纸片的方法同 4.1，不再重述，得到的结果见表 5。

4.3. 实现算法

索贝尔算子(Sobel operator)是图像处理中的算子之一，主要用作边缘检测。在技术上，它是一离散性差分算子，用来运算图像亮度函数的梯度之近似值。在图像的任何一点使用此算子，将会产生对应的梯度矢量或是其法矢量。

Table 3. Long-edge stitching result of shredded paper
表 3. 碎纸条的长边拼接结果

一																		
014	128	003	159	082	199	135	012	073	160	203	169	134	039	031	051	107	115	176
094	034	084	183	090	047	121	042	124	144	077	112	149	097	136	164	127	058	043
二																		
125	013	182	109	197	016	184	110	187	066	106	150	021	173	157	181	204	139	145
029	064	111	201	005	092	180	048	037	075	055	044	206	010	104	098	172	171	059
007	208	138	158	126	068	175	045	174	000	137	053	056	093	153	070	166	032	196
三																		
049	054	065	143	186	002	057	192	178	118	190	095	011	022	129	028	091	188	141
061	019	078	067	069	099	162	096	131	079	063	116	163	072	006	177	020	052	036
四																		
168	100	076	062	142	030	041	023	147	191	050	179	120	086	195	026	001	087	018
038	148	046	161	024	035	081	189	122	103	130	193	088	167	025	008	009	105	074
五																		
089	146	102	154	114	040	151	207	155	140	185	108	117	004	101	113	194	119	123
六																		
071	156	083	132	200	017	080	033	202	198	015	133	170	205	085	152	165	027	160

Table 4. The recovery results of Annex 3
表 4. 附件 3 的复原结果

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

she wi other. Taashes Onrd. thest sow tomorrow. They thandirhwiril, and whet the Devlk c he is e h theap will md, hey liy's child ir. Tue bounc in veraul. E Rob Peter to pay Poupenny, e. ' appestdall of gracs fi can't l to fo. In a fjsstle monti. Now drij its co'judge do ff ur put o for a pound. Neve l bou can wilook byerhe saliva, as tcome a bhav w ycrov to.

Figure 9. Part of the mosaic picture of the results of the English group after completion

图 9. 英文图片分完组后的部分拼接结果

该算子包含两组 3×3 的矩阵，分别为横向及纵向，将之与图像作平面卷积，即可分别得出横向及纵

向的亮度差分近似值。如果以 A 代表原始图像， G_x 及 G_y 分别代表经横向及纵向边缘检测的图像，其公式如下：

$$G_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{pmatrix} * A \quad G_y = \begin{pmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} * A$$

碎纸片拼接复原模型

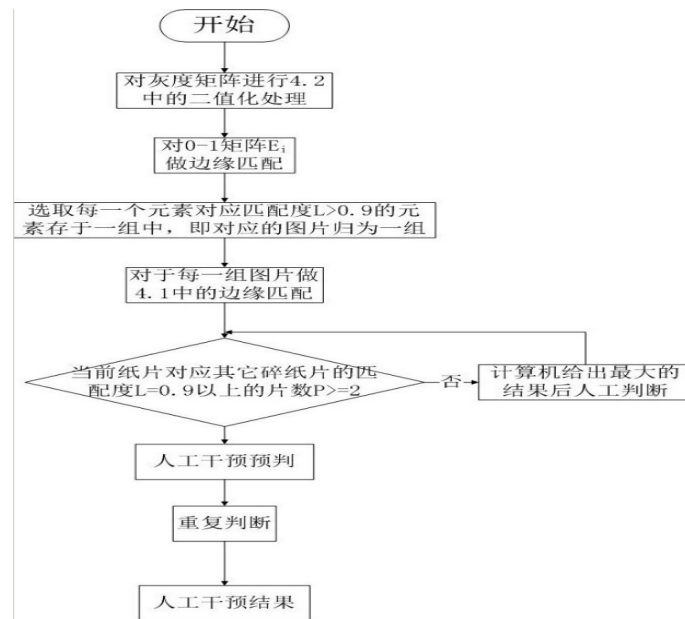


Figure 10. The flow chart
图 10. 流程图

Table 5. The recovery results of Annex 4
表 5. 附件 4 的复原结果

191	75	11	154	190	184	2	104	180	64	106	4	149	32	204	65	39	67	147
201	148	170	196	198	94	113	164	78	103	91	80	101	26	100	6	17	28	146
86	51	107	29	40	158	186	98	24	117	150	5	59	58	92	30	37	46	127
19	194	93	141	88	121	126	105	155	114	176	182	151	22	57	202	71	165	82
159	139	1	129	63	138	153	53	38	123	120	175	85	50	160	187	97	203	31
20	41	108	116	136	73	36	207	135	15	76	43	199	45	173	79	161	179	143
208	21	7	49	61	119	33	142	168	62	169	54	192	133	118	189	162	197	112
70	84	60	14	68	174	137	195	8	47	172	156	96	23	99	122	90	185	109
132	181	95	69	167	163	166	188	111	144	206	3	130	34	13	110	25	27	178
171	42	66	205	10	157	74	145	83	134	55	18	56	35	16	9	183	152	44
81	77	128	200	131	52	125	140	193	87	89	48	72	12	177	124	0	102	115

图像的每一个像素的横向及纵向梯度近似值可用以下的公式结合, 来计算梯度的大小。

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

然后可用以下公式计算梯度方向

$$\Theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

在以上例子中, 如果以上的角度 Θ 等于零, 即代表图像该处拥有纵向边缘, 左方较右方暗。在边沿检测中, 常用的一种模板是 Sobel 算子。Sobel 算子有两

个, 一个是检测水平边沿的; 另一个是检测垂直平边沿的。Sobel 算子对于象素的位置的影响做了加权, 因此效果更好。Sobel 算子另一种形式是各向同性 Sobel(Isotropic Sobel)算子, 也有两个, 一个是检测水平边沿的, 另一个是检测垂直平边沿的。各向同性 Sobel 算子和普通 Sobel 算子相比, 它的位置加权系数更为准确, 在检测不同方向的边沿时梯度的幅度一致。

4.4. 聚类精度和算法时间复杂度分析

1) 聚类精度分析

传统的 k-means 算法, 所求解往往是局部最优解, 使用 k-means 算法在一定程度上减少了局部最优可能性, 但从聚类过程看, 求解也往往是局部最优解, 本文提出的调整簇阈值的加速算法, 由于采用了近似的 k-means 算法, 导致该算法只能找到局部近似解。适当地设置阈值, 也能得到和 k-means 算法相当的聚类精度。

2) 时间复杂度分析

传统 k-means 算法的时间复杂度为 $O(nkdt)$, 其中, n 为样本个数, k 为簇数目, d 为数据维数, t 为迭代次数。

5. 模型的评价与推广

5.1. 模型的优点

通过对复原后图片验证结果认为碎纸片复原拼接模型对于本问题有很高的可行性。对于中、英文两种情况, 发现了中文需要人工干预较少, 英文人工干预较多的规律, 说明不同语言有各自的特性, 中文到英文由于难度的增加依次将模型进行改进, 给出了严谨的说明过程, 模型对该类问题有很好的可用性。

5.2. 模型的缺点

本模型仅适合规则碎纸片黑白信息的复原问题, 不能解决不规则碎纸片的复原与非黑白信息的复原。人工干预占总过程时间的比例相对较高(35%), 对于数据量大的碎纸片复原问题, 人工干预可能会花掉大部分时间。

5.3. 模型的推广

该模型适用于规则碎纸片的拼接复原问题。本模型给出了中英文碎片处理的算法, 根据复原结果, 可

认为本论文中的模型很好的适用于该类问题的解决。对于一些不熟悉的语言和符号信息, 碎纸片的倒置情况未知, 需要先对倒置情况进行判断, 再进行类似的算法进行图片复原处理问题。

对于规则残片, 如考古挖出的规则的文物、规则的钞票残片等残片复原问题, 只需将它们用照片照好转化为灰度矩阵, 对颜色进行一定的处理后借鉴本模型方法进行复原。

参考文献 (References)

- [1] 周丰 (2007) 图像碎片自动拼接技术研究. 硕士论文, 北京交通大学, 北京.
- [2] 何鹏飞 (2009) 基于蚁群优化算法的碎纸拼接. 硕士论文, 国防科学技术大学, 长沙.
- [3] 罗智中 (2012) 基于文字特征的文档碎纸片半自动拼接. *计算机工程与应用*, **37**, 207-210.
- [4] 章毓晋 (2012) 图像处理. 清华大学出版社, 北京.
- [5] 张静, 胡志萍, 刘志泰 (2005) 基于轮廓相位相关的图像自动拼接. *大连理工大学学报*, **1**, 68-74.
- [6] 余辉, 侯在克, 何旭莉 (2003) 一种基于轮廓特征的图像拼接算法设计与实现. *石油大学学报: 自然科学版*, **2**, 114-118.
- [7] Hu, M.K. (1962) Visual pattern recognition by moment in variants. *IEEE Transaction on Information Theory*, **8**, 179-187.
- [8] Duffin, K.L. and Barrett, W.A. (2001) Fast focal length solution in partial panoramic image switching. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Kauai, Hawaii, 690-695.
- [9] Horn, B.K.P. (1974) Determining lightness from an image. *Computer Graphics and Image Processing*, **3**, 277-299.
- [10] 陶波, 于志伟, 郑筱祥 (1997) 图像自动拼接. *中国生物医学工程学报*, **4**, 21-25.
- [11] 刘保柱 (2010) MATLAB7.0 从入门到精通. 人民邮电出版社, 北京.
- [12] 卓金武 (2011) MATLAB 在数学建模中的应用. 北京航空航天大学出版社, 北京.
- [13] 牛刚, 梁伟(2005) 基于特征像素统计的图像相关匹配算法. *微计算机信息*, **33**, 103-105.
- [14] 姜启源, 谢金星, 叶俊 (2008) 数学模型. 高等教育出版社, 北京.
- [15] 楼顺天 (2008) mat lab 程序设计语言. 高等教育出版社, 西安.