

粘连雨滴基于凸缺陷的凹点分割算法

张志明

成都信息工程大学通信工程学院（微电子学院） 四川成都

【摘要】降雨强度的演算过程中，粘连雨滴的出现会影响降雨强度的计算结果，因此我们需要对粘连雨滴进行分割；本文根据雨滴类圆外凸的特性，先将雨滴颗粒分类为单个雨滴和粘连雨滴，然后根据粘连雨滴特性，对粘连雨滴轮廓进行了相应的研究；基于寻找到的凹点对粘连雨滴颗粒进行有效分割，其核心的操作是能够准确找到凹点；本文提出的基于凸缺陷凹点分割算法，研究了粘连雨滴轮廓之后，以每个轮廓上面的点作为中心点，建立正方形区域，然后分别在每个轮廓上面移动建立的正方形，接着分别统计每一个正方形区域内黑点数量较多的点，将此点作为凹点，并根据相应的规则进行凹点匹配，最终实现对粘连雨滴分割。实验研究表明，本文提出的基于凸缺陷的凹点分割算法能够实现对粘连雨滴的有效分割。

【关键词】凹点寻找；粘连区域分割；凸缺陷

Concave point segmentation algorithm Based on Convex defect for Adhesive raindrops

Zhiming Zhang

School of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology

【Abstract】In the calculation process of rainfall intensity, the appearance of adhesive raindrops will affect the calculation result of rainfall intensity, so we need to segment the adhesive raindrops. In this paper, according to the characteristics of outer convex of raindrops, the raindrop particles are first classified into single raindrop and adhesive raindrop, and then according to the characteristics of adhesive raindrop, the contour of adhesive raindrop is studied. Based on the found concave points, the core operation of the effective segmentation of the adhesive raindrop particles is to find the concave points accurately. The proposed segmentation algorithm based on convex defect concave point, study the adhesion after rain outline, per the above points as the center, establish a square area, and then respectively in each contour mobile establish above the square, then the statistics of each square area within the black spots number of points, the point as a concave point, and according to the rules of the corresponding concave points matching, Finally, the segmentation of adhesive raindrops is realized. Experimental results show that the proposed concave point segmentation algorithm based on convex defects can achieve effective segmentation of adhesive raindrops.

【Keywords】concave point search; Adhesion region segmentation; Convex defect

引言

随着云计算、大数据、移动互联网、物联网、降雨是重要的气候因子，降雨量的观测是水资源的最重要的基础资料之一，也是气候变化、地质灾害、洪水灾害预警和环境评估等方面的重要影响因素^[1]。降雨强度指的是某段时间内的降雨量，降雨强度越大，雨势越凶猛；目前来说，由于对降雨强度

监测的不精准，给相关工作人员对水资源分布的分析及对旱涝情况的管理带来了很大的困扰，对于降水量的准确监测，不管在我们实践生产中，还是在我们生活都起到至关重要的作用^[2]。在进行降雨强度计算过程中，粘连雨滴会存在，而要想获得准确的降雨强度值，需要对粘连雨滴进行分割，本文根据采集到的雨滴颗粒特性，对雨滴颗粒进行了相关

的研究。

对于粘连区域的分割，目前应用较多的就是分水岭分割，其主要思路为将图像灰度值看作一幅地形图，在地形图的局部极小值处与地形最低点是连通的，从最低点开始注水，水流会逐渐淹没地形较低点构成的区域，直到整个图像被淹没。在这个过程中，通过相关形态学处理，可以实现一幅图像的分水岭分割^[3]，但是分水岭分割会产生过分割等问题；对于重叠区域的图像分割，也有基于凹点匹配分割算法进行分割，总体的思路是先从粘连区域中进行凹点的寻找，然后基于搜寻到的凹点进行凹点连接。对这个算法有相关的研究，比如有作者使用边界跟踪的思想进行粘连区域分割，然后在此算法的基础上，根据真实的欧氏距离所提取的局部极大值点信息对分割策略进行控制，进而减少图像粘连区域过分割、欠分割的产生，同时作者对含有孔洞的粘连区域也增加了内部边界跟踪处理，经过这样处理之后，各个区域中不会含有孔洞，而且每个粘连区域被分割，最终实现对粘连区域分割^[4]；还有作者首先对采集图像进行预处理、阈值分割及形态学处理，然后利用链码边界跟踪法则，对粘连区域中的凹点曲率进行了分析计算，通过这样找到图像中的凹点，最后根据判断准则对凹点进行相应的连接，将凹点进行连接实现对粘连区域的分割^[5]。由此可见，对于粘连区域的分割，很早开始，就有学者对其进行了相应的研究与实现，同时我们也能间接地体会到在图像处理中，对于粘连区域分割研究的重要性。

本文中，首先对采集到的图像进行预处理操作，经过预处理之后的图像，根据雨滴类圆外凸的特性，将雨滴颗粒分为单个雨滴和粘连雨滴，然后对粘连雨滴的轮廓特性进行研究；提取了粘连雨滴轮廓之后，将单个提取的粘连雨滴区域与单个雨滴轮廓进行与运算，接着以单个雨滴轮廓上面的每个白点为中心，建立 27*27 的正方形区域，分别统计正方形区域内包含的黑点个数，以黑点个数最多的点作为此雨滴轮廓的凹点，最终会得到一组的凹点，将每个雨滴轮廓上面的凹点根据一定的规则用直线进行连接，完成粘连雨滴的分割。

1 图像数据获取及预处理操作

1.1 雨滴图像获取

本文中所采用的数据来自模拟降雨雨滴，首先用塑料毫米级滴管吸收的水随机滴落在定制的黑色亚克力板（20cm*20cm）上，然后用华为手机进行拍照采集。这里使用黑色的原因，一方面是耐脏，更重要的是黑色能够吸收光线，减少不必要的噪点，同时能够凸显出雨滴颗粒，采集到的图像质量较好，便于后期图像相关处理。

1.2 雨滴图像预处理过程

实际图像数据采集过程中，由于我们进行图像采集时候所处的环境和设备等因素的原因，我们所采集到的图像，会有一些问题，而要使采集到的图像能够用于后续阶段，我们需要对图像进行相应的预处理操作，对于图像处理来说，对图像的预处理操作是否得当对于后续图像处理起着至关重要的作用。

采集到的图像，我们先进行图像灰度化处理，实现对图像灰度化，接着对图像进行均衡化处理实现图像增强；图像中存在的噪点处理在图像预处理阶段起着很重要的作用，针对本文中图像存在的噪点，结合雨滴及亚克力板特性，本文采用双边滤波的方法进行图像滤波，进而实现对图像去噪的效果；对于本文中存在的孔洞现象，本文使用形态学进行相应的孔洞填充，使雨滴颗粒饱满，便于后面相关图像处理；最后使用最大熵阈值分割法实现对图像的分割。本文的预处理步骤流程图如图 1 所示：

2 双边滤波

图像滤波在图像预处理中是一个很关键的步骤，滤波方法如果选择不好，不仅起不到图像噪点滤除的效果，甚至可能会引入新的图像噪点，影响后面的图像处理，使得图像质量变差。双边滤波器是一种非线性滤波器，它在保留边缘的同时滤除高斯噪声。图像中窗口相邻像素强度的加权平均值来取代每个像素，同时权值函数对靠近中心像素和类似中心像素的像素赋予更多权值^[6]，它是一种结合了域滤波和范围滤波的非线性滤波器，它通过对滤波器系数的相对像素强度进行加权，它最后输出的图像是输入图像的加权平均，其公式表达式为^[7]：

$$f_x = k^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} k(\zeta) * c(\zeta, x) * s(k(\zeta), f(x)) d\zeta \quad (1)$$

$$\text{其中 } k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\zeta, x) * s(k(\zeta), f(x)) d\zeta$$

这里的 $c(\zeta, x)$, $s(k(\zeta), f(x))$ 指的是中心像素 x 和附近像

素 ζ 对应的域和距离的滤波。所以说双边滤波是与和距离滤波的结合； x 处的像素值被替换为相似强度和附近像素域的平均值。假如一个小区域内的像素值相似，此时加权 $s(k(\zeta), f(x))$ 中的每个元素都会接近于1。由于一些不相干的像素值就会被平均，因此，双边滤波起到了标准高斯平滑的作用。如图2图3所示分别为两次采集的原始雨滴图像双边滤波后的效果图。

3 雨滴图像中雨滴分类

在雨滴图像图4图5中，我们发现，雨滴总体轮廓像圆形，有向外凸起的特性，根据这一个特性，我们进行雨滴分类，大致来说，我们可以将雨滴分为两类：一类是一个个的雨滴，另一类是粘连在一起的雨滴。在这里我们假设雨滴的半径为 R ，直径为 D ，那么根据类圆特性算出雨滴面积为：

$$S = \pi * R^2 = \frac{1}{4} * \pi * D^2 \quad (2)$$

雨滴的周长为：

$$L = \pi * D = 2 * \pi * R \quad (3)$$

假设雨滴周长的平方与雨滴面积之比的系数为 κ ，那么 κ 的表达式可为：

$$\kappa = L^2 / S = (4 * \pi^2 * R^2) / \pi * R^2 = 4 * \pi \quad (4)$$

由式(5-3)中 κ 的表达式可知：

- (1) 当 $\kappa \approx 4 * \pi$ 时，此雨滴颗粒为单个雨滴；
- (2) 当 $\kappa \neq 4 * \pi$ 时，此雨滴颗粒为粘连雨滴。

从两次采集的图像中，我们可以看到有粘连的雨滴，也有单个雨滴。对此图像进行相应的预处理，然后根据上面的分类规则，将雨滴颗粒分为单个雨滴和粘连雨滴，并提取其粘连雨滴颗粒的区域，如图6图7所示分别为两次采集图像粘连区域的提取图。

4 基于凸缺陷的凹点分割算法

提取了粘连雨滴颗粒之后，需要对其进行分割，本文提出使用基于凸缺陷的凹点分割算法，算法主要思路为：

(1) 根据雨滴颗粒分类准则进行粘连雨滴颗粒提取，找到其相应凸包，用凸包减去其本身，得到未经过中值滤波之后的凸缺陷；

(2) 得到的凸缺陷中会有一些噪点，使用中值滤波进行噪点的滤除，同时使用canny边缘检测进行边缘检测；

(3) 得到边缘检测之后，将其分别与凸缺陷进行与操作，得到与操作之后的轮廓；

(4) 以每一个轮廓上面的点为中心，建立 $27*27$ 的正方形，此正方形在轮廓上面遍历移动，记录每个点对应的正方形所包含黑点的数量，由于有凹点存在，所以对于凹点处的正方形来说，所包含的黑点数量最多，此时将此点坐标记录，即为凹点；

(5) 得到每个轮廓上面的凹点之后，根据规则将对对应点相连，实现粘连区域的分割。

4.1 凸缺陷的概念

图像处理中，凹凸性是图形基本的几何特性之一，假设1代表的是目标像素，0代表的是背景像素，如果任意两个像素点间的连线不穿过目标像素，那么此图形为凹图形，如下图所示，像素(2,2)和像素(2,5)间的像素顺序为(1001)，中间出现了两个0，所以为凹图形；而对于右图来说，像素(2,3)和像素(2,6)间的顺序为(01110)，中间出现了两个1，所以为凸图形，凸图形表示为图8图9：

对于凸包来说，只要是包含任何一个凹图形的最小图形，都可以称为凸包，如下图10图11所示为两次采集到的雨滴图像凸包图形：

得到凸包之后，用凸包减去原图像，可得到凸缺陷图形，如图12,13所示分别为两次雨滴图像采集处理后的凸缺陷图形；用凸包减去原图形之后，得到凸缺陷图形，图中会有一些非雨滴干扰，使用中值滤波法将干扰去除，两次采集到的图像经过中值滤波之后凸缺陷图形如图14,15所示：4.2 凹点寻找

凹点的准确寻找对于图像分割起着非常重要的作用，本文提出的凹点寻找，先是用canny边缘检测对经过中值滤波之后的凸缺陷图形进行边缘检测，然后将得到的边缘检测图与原图形进行与操作得到相应的轮廓图，在每个轮廓上面以每个轮廓上面的点为中心建立正方形，遍历移动正方形，得到正方形所包含黑点数量最多的点，以此点作为凹点。

(1) Canny边缘检测算子在1986年提出，主要是为了减少噪声的干扰，降低误检率，保证检测到的边缘与图像的真实边缘相似，同时使测量的边缘像素的响应唯一，得到的边界是单个像素^[8]。本文中对凸缺陷图形进行canny检测之后，两次采集到的图像其效果图分别为：得到canny边缘检测图之后，将其与原图形进行与操作，图像是由一点点

的像素值组成，假设目标像素值为 1，而背景像素值为 0，那么两张图片进行与操作之后，只有两张图片中相对应位置都为 1，此时的结果才为 1，即为目标像素值，若其中一张图片中的像素值为 0，那么此时结果为 0，两次采集到的图像分别经过两张图像与操作之后分别得到的效果图如图所示：两张图像进行与操作之后，此时开始进行凹点寻找，以每一个轮廓上面的点为中心点，建立 27*27 的正方形，移动正方形，在轮廓上面进行遍历，轮廓上面每一个点建立的正方形，其包含的黑点个数不一样，若此点为凹点，那么此时正方形内的黑点个数最多，从而判断此点为凹点。如图展示的是两次采集到的

图像，其中一个轮廓上面的正方形移动，正方形内包含黑点数量情况图：

(2) 由上两图可知，轮廓上面进行正方形移动时，正方形内所包含的黑点数量是不一样的，经过分析，当以凹点为中心建立的正方形，其包含的黑点数量最多，由此也可确定为凹点，找到每个轮廓上面的凹点之后，用直线进行连接。每个粘连雨滴，提取的凸缺陷所对应的凹点，它们之间的距离是最短的，根据这个规则，进行凹点的连接，从而实现粘连雨滴的分割。两次采集到的图像分割之后的效果图分别如图所示：

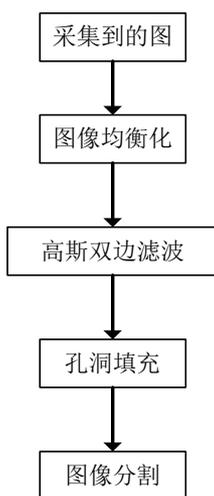


图 1 预处理流程图



图 2 其中一次高斯双边滤波效果图



图 3 另一次高斯双边滤波效果图



图 4 其中一次图像采集原图



图 5 另一次图像采集原图

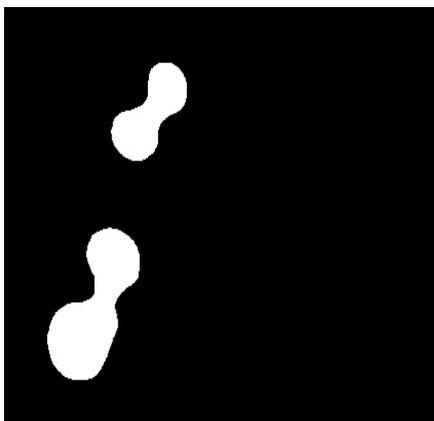


图 6 其中一次雨滴采集图像粘连区域提取图

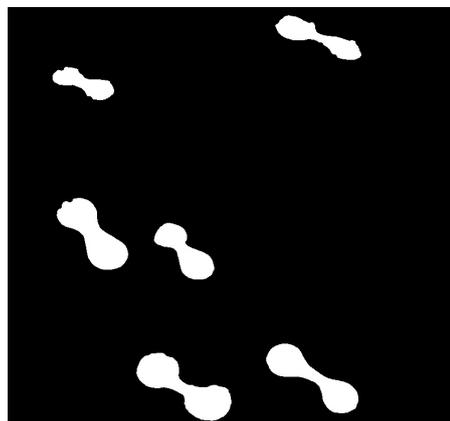


图 7 另一次雨滴采集图像粘连区域提取图

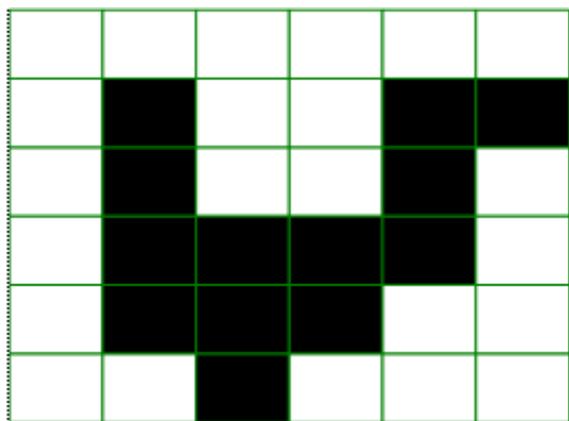


图 8 凹图形

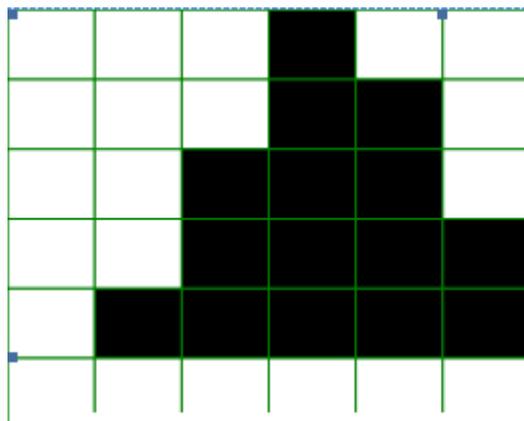


图 9 凸包图形

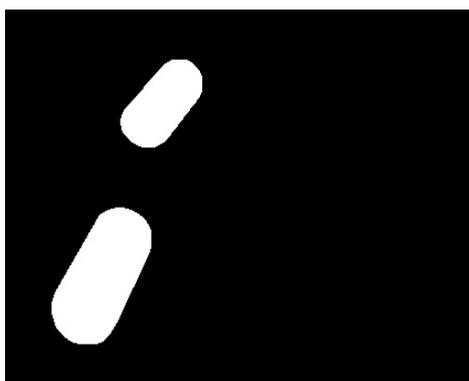


图 10 其中一次雨滴颗粒凸包图形

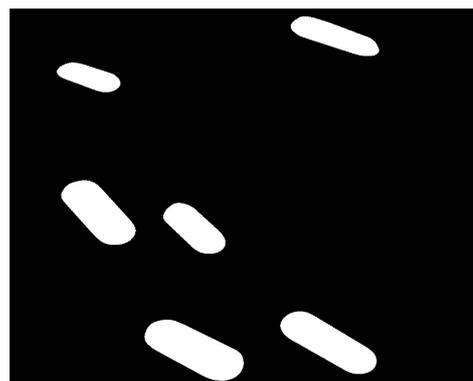


图 11 另一次雨滴颗粒凸包图形



图 12 其中一次采集到的图像未经中值滤波的凸缺陷图形

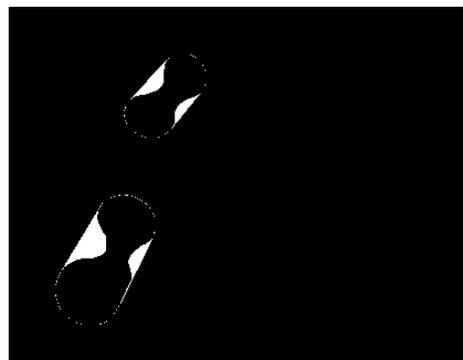


图 13 另一次采集到的图像未经中值滤波的凸缺陷图形

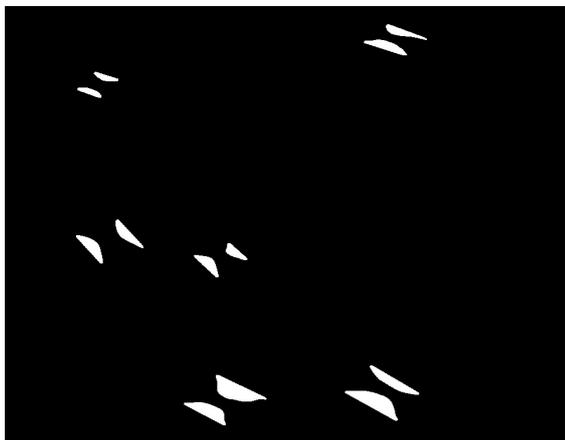


图 14 其中一次经过中值滤波之后的凸缺陷图形



图 15 另一次经过中值滤波之后的凸缺陷图形

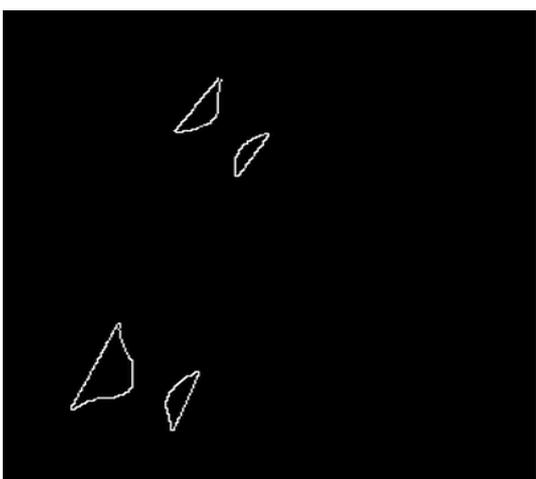


图 16 其中一次 canny 边缘检测图

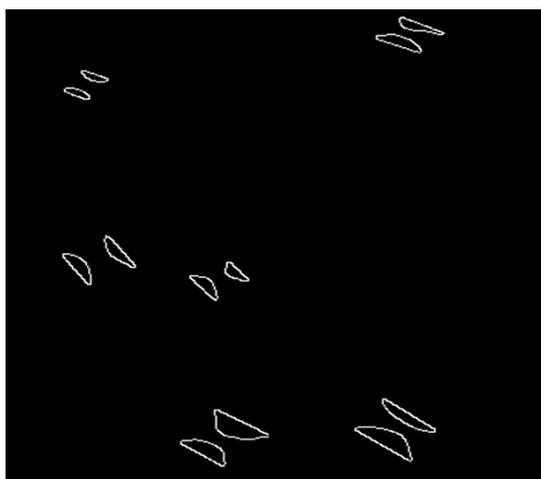


图 17 另一次 canny 边缘检测图

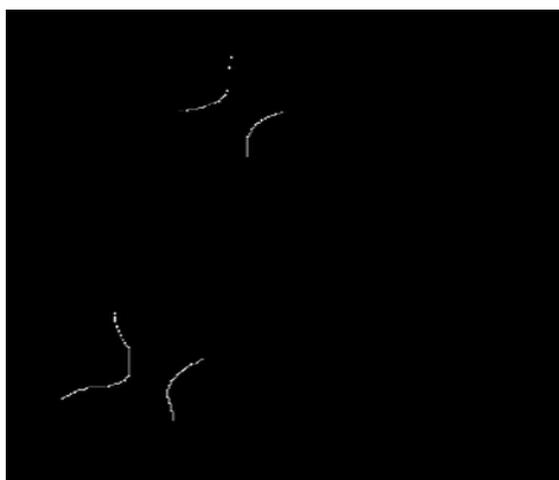


图 18 其中一次两张图像与操作结果图

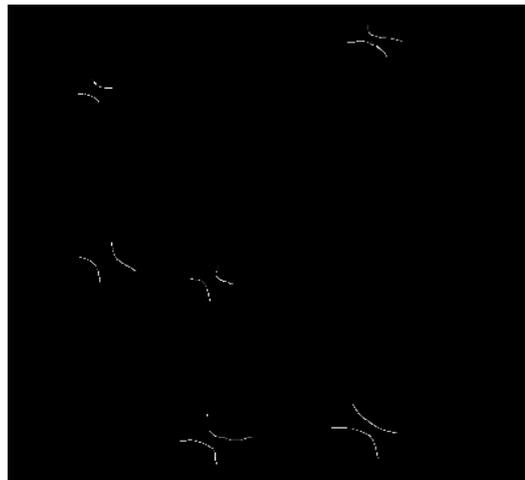


图 19 另一次两张图像与操作结果图

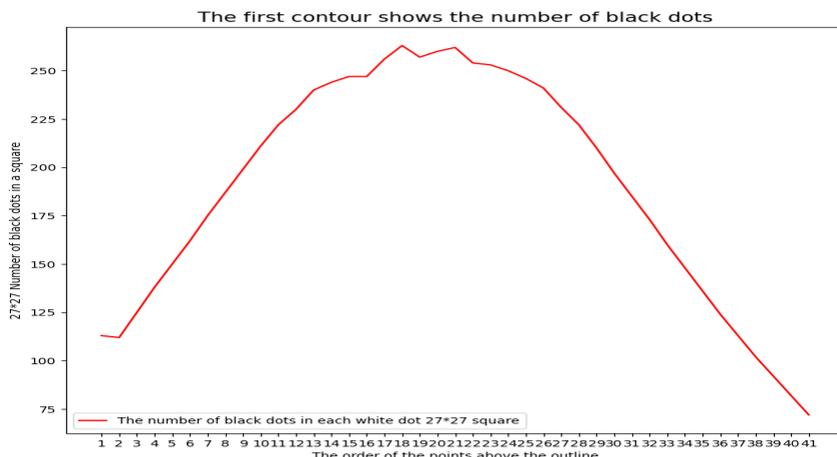


图 20 其中一次采集图像第一个轮廓上面正方形内包含黑点数量情况图

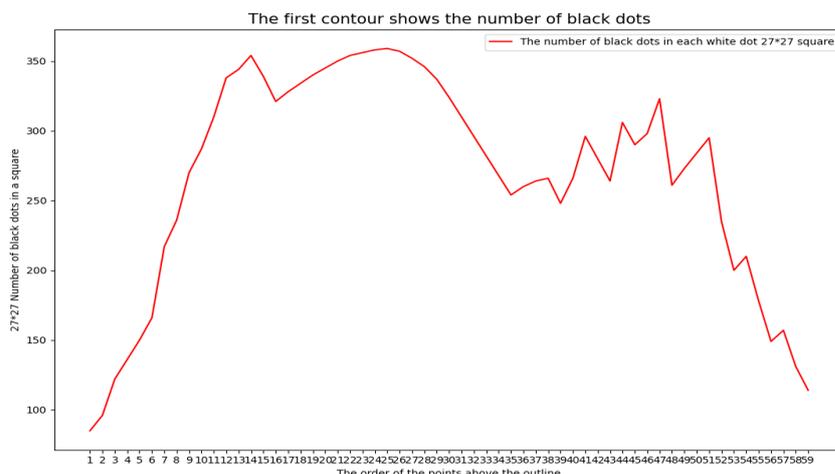


图 21 另一次图像采集第一个轮廓上面正方形内包含黑点数量情况图

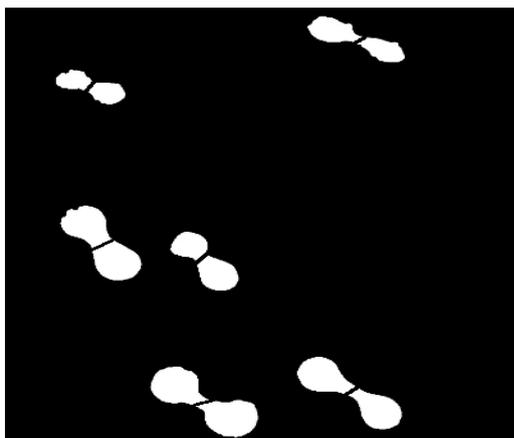


图 22 其中一次采集到的粘连雨滴分割图

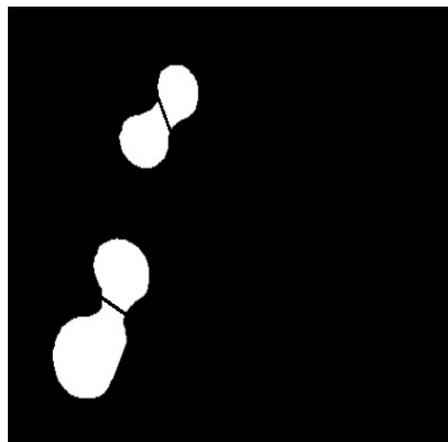


图 23 另一次采集到的粘连雨滴分割图

5 结束语

经过图像预处理操作之后，以每个轮廓上的点为中心，建立正方形区域，通过统计正方形区域内黑点数量最多的点，然后以该点作为此轮廓的凹点，

最后将距离较短的一对凹点进行相连，实现对粘连雨滴的有效分割，本次以在亚克力板上滴落的雨滴为数据，验证了该算法的可行性和有效性，同时在拍照进行数据采集的时，应注意光照均匀，避免在

后续进行最大熵阈值图像分割时，引入新的图像噪点。

参考文献

- [1] 刘俊,马尚昌,杨笔锋.一种激光雨滴谱仪小雨滴检测方法[J].气象科技,2013,41(04):603-607+613.
- [2] 胡庆芳,杨大文,王银堂,杨汉波.基于 TRMM 3B43V7 的赣江流域月径流过程模拟[J].水力发电学报,2014,33(05):6-12.
- [3] R. S. Sengar, A. K. Upadhyay, M. Singh and V. M. Gadre, "Segmentation of two dimensional electrophoresis gel image using the wavelet transform and the watershed transform," 2012 National Conference on Communications (NCC), 2012, pp. 1-5,
- [4] 李希,王天江,周鹏.一种改进的粘连颗粒图像分割算法[J].湖南大学学报(自然科学版),2012,39(12):84-88.
- [5] 白莉娜.基于凹点匹配的粘连颗粒图像分割算法[J].南阳理工学院学报,2014,6(06):53-55.
- [6] K. S. Rani and R. V. S. Satyanarayana, "Image denoising using boundary discriminated switching bilateral filter with highly corrupted universal noise," 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), 2017, pp. 1515-1521.
- [7] S. Srisuk, "Bilateral filtering as a tool for image smoothing with edge preserving properties," 2014 International Electrical Engineering Congress (iEECON), 2014, pp. 1-4.
- [8] L. Wang and Y. Sun, "Improved Canny edge detection algorithm," 2021 2nd International Conference on Computer Science and Management Technology (ICCSMT), 2021, pp. 414-417.

收稿日期: 2022 年 8 月 19 日

出刊日期: 2022 年 9 月 7 日

引用本文: 张志明, 粘连雨滴基于凸缺陷的凹点分割算法[J]. 国际计算机科学进展, 2022, 2(2):9-16.
DOI: 10.12208/j. aics.20220032

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS