

$\rho^m = a^m \cos m\varphi$, где $m = n/k$, $n, k \in \mathbb{Z}$. Для формулы с косинусом при подстановке конкретной m получаем: окружность ($m = 1$), прямую ($m = -1$), лемнискату Бернулли ($m = 2$), параболу ($m = -1/2$) и т. д. Так как фигуры Лиссажу имеют большее техническое применение, чем синусоидальные спирали, для исследования выбраны именно они.

Пусть имеется отображение $F: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \times \mathbb{R}$. Инвариантно, каким образом оно задано: F алгебраическое описание или $F \equiv P \circ F_1$, где F_1 – формула; P – линейное преобразование. Поскольку для центрально-симметрических конических сечений ПАМ применим, то и для жордановых кривых он должен существовать, что подтверждается исследованием фигур Лиссажу. Должно существовать

решение, позволяющее рассчитывать точные параметры Жордановых кривых после линейного преобразования, что позволит точные расчеты и однозначную передачу информации в машиностроительных САПР.

Библиографические ссылки

1. Ложкин А. Г. Вычислительная планиметрия с вырожденными преобразованиями. – Екатеринбург : ИЭ УрО РАН, 2009. – 158 с.
2. Ложкин А., Дюкина Н. Структурирование аналитической геометрии на основе симметрий. – Saarbrücken : LAP, 2012. – 176 с.
3. Gibson C. G. Elementary geometry of differentiable curves: an undergraduate introduction. – Cambridge : University press, 2001. – 216 p.

A. G. Lozhkin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

About Lissajous Figures

It is shown in short that the Lissajous figures unite the central symmetric conic sections, the line and complex Jordan curves. A chance of finding the method of arbitrary linear transformations of Jordan curves is provided.

Key words: Jordan curves, arbitrary linear transformations, automorphism.

УДК 004.932

Ю. Б. Камалова, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕРЕН ПЫЛЬЦЫ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ РАСТРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА, И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИХ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Рассматриваются информативные параметры зерен пыльцы, необходимые для распознавания. Приводится алгоритм распознавания зерен пыльцы, полученных с помощью растрового электронного микроскопа, результаты статистической обработки данных.

Ключевые слова: распознавание изображений зерен пыльцы, информативные параметры зерен пыльцы, алгоритм распознавания зерен пыльцы.

Автоматическое распознавание пыльцы развивалось, основываясь на полутоновых вариантах, которые характеризуют гранулы пыльцы независимо от их положения и ориентации на микроскопическом образце [1, 2].

Задача распознавания зерен пыльцы сводится к задаче определения признаков (дескрипторов), по которым будут оцениваться объекты в выборке, т. е. к задаче кластеризации.

Цель работы – выявление и статистическая обработка дескрипторов, характерных для разных типов пыльцевых зерен.

Объект исследования – изображения зерен пыльцы, полученные на растровом электронном микроскопе по разработанной нами технологии [3].

Метод и методика проведения исследования

Выделялись признаки, по которым можно разделить пыльцевые зерна вручную, затем математически формализовывалась и прописывалась весовая функция – какой дескриптор более важен и как соотносится с другими.

Приведем алгоритм обработки и распознавания изображения зерен пыльцы полифлорного меда (рис. 1, а):

1. Адаптивная бинаризация. Поиск нескольких локальных порогов осуществляли по методу Отсу [4] путем минимизации различных вариантов черных и белых пикселей (рис. 1, б): $\text{graythresh}(t_img) = 0,4529$.

2. Выделение замкнутого множества точек. На бинарном изображении объект – это замкнутое мно-

жество точек. При определении матрицы этих точек переходим от понятия «изображение» к понятию «возможно, объект».

3. Определение матрицы найденных точек (рис. 1, в).

4. Нахождение контура методом Канни (рис. 2, а).

5. Заполнение замкнутых контуров изображения (рис. 2, б).

6. Создание дискообразного структурного элемента $SE = strel('disk', 2)$ с радиусом $R = 2$, параметром $N = 4$ (аппроксимировали последовательностью 4 периодически-линейных структурных элементов [5]).

7. Выделение пыльцевого зерна и его характеристик – вывод изображения, ограниченного заданным прямоугольником, его яркостной гистограммы, а также рассчитанных параметров – площади (S), периметра (P), отношения площади к периметру (S/P), среднего значения выборки расстояний от центра до каждой точки периметра (R_{mean}), среднеквадратического отклонения выборки расстояний от центра до каждой точки периметра (R_{sco}), среднеквадратического отклонения выборки яркостной гистограммы (СКО), среднего значения выборки яркостной гистограммы (M) (рис. 2, в).

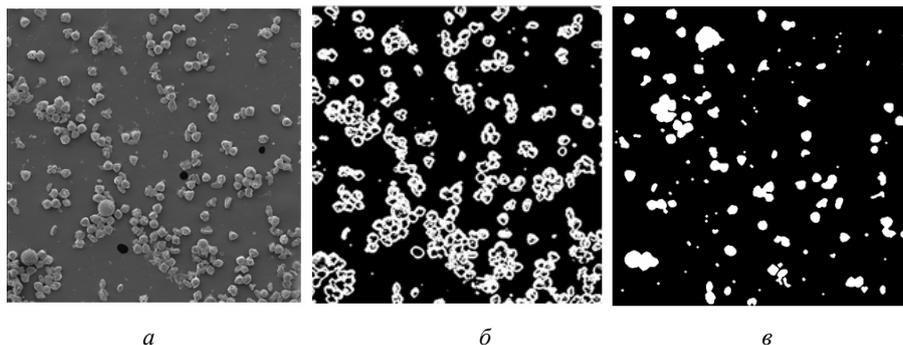


Рис. 1: а – исходное изображение; б – бинаризация по методу Отсу; в – нахождение объектов

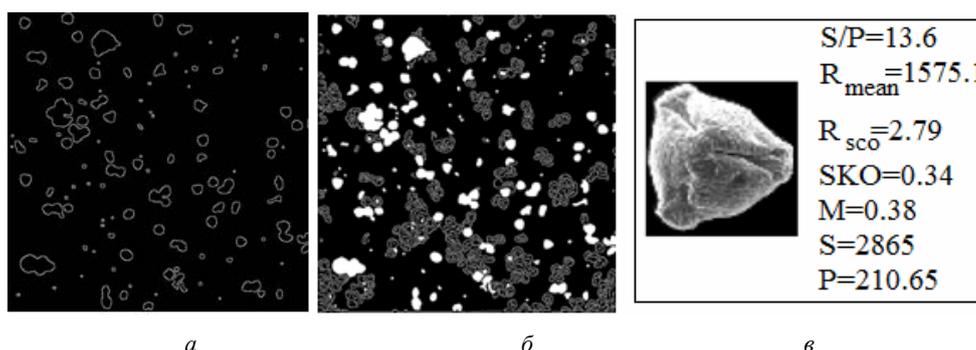


Рис. 2: а – нахождение контура; б – заполнение замкнутых контуров; в – выделенное пыльцевое зерно и его информативные параметры

Результаты

При автоматизированном анализе изображения пыльцевых зерен полифлорного меда в программной среде Matlab было выделено три типа пыльцевых зерен (табл.). Для определения доверительных интервалов параметров для каждого типа применяли правило трех сигм: все значения нормально распределенной случайной величины лежат в интервале $[\bar{x} - 3 \cdot \sigma; \bar{x} + 3 \cdot \sigma]$, где σ – среднеквадратическое отклонение; \bar{x} – среднее значение величины с достоверностью 99,7%. Вероятность нормального распределения (P_n) выборок порядка 20-25 объектов для каждого из трех выделенных типов проверяли по критерию Шапиро – Уилка.

Реально достигнутый уровень значимости получился больше 10%, что очень хорошо говорит в пользу нормальности: для всех параметров распределения нормальные с вероятностью 70–97% (рис. 3).

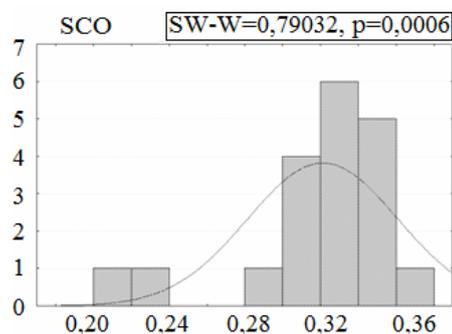


Рис. 3. Нормальное распределение для параметра СКО

Для анализа данных использовался программный пакет Statistica 6.0. Данные были занесены в таблицу.

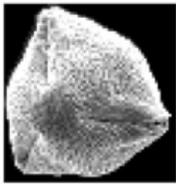
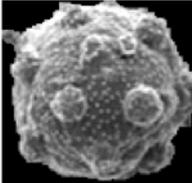
Выводы

В результате проделанной работы был разработан алгоритм распознавания зерен пыльцы, полученных с помощью РЭМ. Были выведены информативные

параметры разных типов пыльцевых зерен, разработана компьютерная программа для автоматизированного выявления информативных параметров разных типов зерен пыльцы и проведена статистическая об-

работка данных, благодаря которой были найдены доверительные интервалы информативных параметров, необходимые для формирования фильтров в программе распознавания.

Информативные параметры пыльцевых зерен

Тип/Параметр		S/P	Rmean	RSCO	SCO	M	S	P	
1-й тип		\bar{x}	14,55	1031,80	2,31	0,32	0,39	3238,63	222,14
		Min	11,63	-1329,77	-2,03	0,20	0,26	2139,91	177,53
		Max	17,48	3393,37	6,65	0,44	0,52	4337,35	266,74
		σ	0,98	787,19	1,45	0,04	0,04	366,24	14,87
		$P_n, \%$	95	92	75	79	98	94	97
2-й тип		\bar{x}	10,61	1064,33	4,65	0,25	0,27	1876,00	176,94
		Min	6,49	-755,73	-16,52	0,13	0,10	266,07	103,99
		Max	14,73	2884,39	25,83	0,36	0,44	3485,93	249,89
		σ	1,37	606,69	7,06	0,04	0,06	536,64	24,32
		$P_n, \%$	86	95	55	85	86	71	76
3-й тип		\bar{x}	4,61	952,82	5,63	0,34	0,36	273,57	58,88
		Min	3,41	-1408,43	-19,06	0,16	0,14	121,29	40,81
		Max	5,82	3314,07	30,31	0,52	0,57	425,85	76,94
		σ	0,40	787,08	8,23	0,06	0,07	50,76	6,02
		$P_n, \%$	85	83	52	72	78	84	85

Выражаю благодарность д-ру техн. наук, профессору Ломаеву Г. В. за предоставленные изображения зерен пыльцы, полученные с помощью РЭМ.

Библиографические ссылки

1. Burges C. J. A tutorial on support vector machines for pattern recognition // *Data Mining and Knowledge Discovery*. – 1998. – No. 2. – P. 121–167.
2. Ronneberger O., Schultz E., Burkhardt H. Automated pollen recognition using 3D volume images from fluorescence microscopy // *Aerobiologia*. – 2002. – 18:107–115.

3. Ломаев Г. В., Камалова Ю. Б., Бекмачев Д. А. Подготовка пыльцевых зерен для анализа с использованием РЭМ // *Пчеловодство*. – 2012. – № 9'12.

4. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. – 1979. – Vol. 9. – No. 1. – P. 62–66.

5. Boomgard Rein van den, Balen Richard van. Methods for Fast Morphological Image Transforms Using Bitmapped Images // *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing*. – 1992. – Vol. 54. – No. 3. – P. 252–254.

Yu. B. Kamalova, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Calculation of Statistical Parameters in Recognition of Pollen Grains, Obtained on Scanning Electron Microscope

Informative parameters of pollen grains, which are necessary for recognition, are considered in the article. Algorithm of pollen grains recognition, obtained on scanning electron microscope, and results of the work of computer program for automatically pollen grains and informative parameters of different types gripping are presented.

Key words: pollen grains recognition, pollen grains informative parameters, algorithm of pollen grains recognition.