

УДК 004.932

В. В. Булатов [V. V. Bulatov]

ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И ЭЛЛИПСОВИДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ

SELECTION OF LINEAR AND ELLIPTICAL OBJECTS IN THE IMAGE BASED ON THE CALCULATION OF THE CORRELATION COEFFICIENT

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлена методика классификации простейших геометрических образов на основе расчета коэффициента корреляции связанных объектов на бинаризованном изображении, опытным путем получены диапазоны значений коэффициента корреляции для распознавания линий, эллипсовидных объектов, а также объектов неправильной геометрической формы.

Классификация объектов – корневая задача анализа и обработки изображений. В последнее время данному направлению уделяют большое внимание, так как корректное распознавание объектов на изображении актуально для разных областей: робототехники, оптическом контроле дефектов материалов и изделий, анализе аэрокосмических изображений и др. Традиционно для распознавания объектов применяются фильтрация, бинаризация, вейвлет-анализ, контурный анализ. Также в последнее время стали популярны алгоритмы на основе нейронных сетей. Многие классификаторы обладают большой вычислительной сложностью и не удовлетворяют возрастающим требованиям к точности и скорости распознавания, поэтому актуальным является задача разработки новых высокоэффективных методов и алгоритмов.

Цель. Разработка классификатора простейших геометрических объектов на основе корреляционного анализа связанных областей на изображении.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи использовались методы статистической обработки данных.

Результаты. Разработан метод распознавания линейных и эллипсовидных объектов на изображении на основе расчета коэффициента корреляции. Предложено разбивать исходную бинаризованную матрицу яркостей на подматрицы со связными объектами и осуществлять расчет коэффициента корреляции с дальнейшей классификацией для каждой из них. Алгоритм реализован в среде PTC Mathcad. Опытным путем получены диапазоны значений коэффициента корреляции для классификации линий, эллипсовидных объектов, а также объектов неправильной геометрической формы.

Заключение. Представленный метод инвариантен к направлению линий на изображении. Для проведения классификации не требуется дополнительной фильтрации (методы Робертса, Собелла, Кани и др.). К недостаткам предложенного метода можно отнести неоптимальность алгоритма, которая сказывается на времени вычислений при увеличении размерности матрицы. При использовании данного классификатора следует обратить внимание на предварительную подготовку изображения и максимально исключить факторы, влияющие на внесение погрешностей отображения связанных объектов.

Ключевые слова: коэффициент корреляции, классификация, бинаризация, геометрические образы, обработка изображений.

Abstract. The article presents the method of classification of the simplest geometric images based on the calculation of the correlation coefficient of connected objects in a binarized image. Experimentally obtained ranges of values of the correlation coefficient for line recognition, elliptical objects, and objects of irregular geometric shape.

Object classification is the root task of image analysis and processing. Recently, this area has paid a lot of attention, since correct recognition of objects in an image is relevant for different areas: robotics, optical inspection of defects in materials and products, analysis of aerospace images, etc. Traditionally, filtering, binarization, wavelet analysis, contour analysis are used. Also recently, algorithms based on neural networks have become popular. Many classifiers have a large computational complexity and do not meet the increasing requirements for recognition accuracy and speed, so the challenge is to develop new high-performance methods and algorithms.

Purpose. To develop a classifier of the simplest geometric objects based on the correlation analysis of connected regions in the image.

Methods. Methods of statistical data processing were used.

Results. A method has been developed for recognizing linear and elliptical objects in an image based on the calculation of the correlation coefficient. It was proposed to break the initial binarized brightness matrix into submatrices with connected objects and to

calculate the correlation coefficient with further classification for each of them. The algorithm is realized in the PTC Mathcad. Experimentally obtained ranges of values of the correlation coefficient for the classification of lines, elliptical objects, as well as objects of irregular geometric shape.

Conclusion. The presented method is invariant to the direction of the lines in the image. For the classification does not require additional filtering (methods of Roberts, Sobell, Kani, etc.). The disadvantages of the proposed method include the nonoptimality of the algorithm, which affects the computation time as the matrix dimension increases. When using this classifier, one should pay attention to the preliminary preparation of the image and exclude as much as possible the factors affecting the introduction of errors in the display of connected objects.

Key words: correlation coefficient, classification, binarization, geometric images, image processing.

Введение. В настоящее время задача цифровой обработки и распознавания изображений является актуальной и востребованной для многих отраслей народного хозяйства. Постоянно улучшается техническая база для получения качественного изображения, и появляются открытые библиотеки алгоритмов машинного зрения, например, библиотека Open CV с открытым кодом [1].

Классификация объектов на изображении является одной из корневых задач машинного зрения. Основные объекты распознавания: точки, линии, края и контуры.

Один из подходов к выделению линии на изображении состоит в том, что производится пространственное объединение откликов детектора перепада яркости внутри локальной области. Линии единичной ширины можно распознавать, осуществляя свертку изображения с набором линейных масочных фильтров [2].

В [3] представлен расширенный алгоритм поиска линий на изображении путем наложения масок 4 типов (горизонтальная, вертикальная, $+45^\circ$ и -45°) и применения преобразования Хафа, суть которого заключается в определении подмножества точек, лежащих на одной линии.

Для выделения краев и контуров применяются операторы Робертса, Собелла, Марра и Кани, подробное описание работы которых представлено в [4-6].

В [7] представлен алгоритм распознавания контуров изображений как последовательности отрезков цифровых прямых.

Несмотря на большое количество работ в данном направлении, до сих пор продолжается поиск новых решений и разработка алгоритмов распознавания.

Классификация объектов на основе корреляционного анализа

Рассмотрим выделение линейных и эллипсовидных объектов на изображении. Существует огромное количество классификаторов для определения интересующих объектов, некоторые из которых описаны в работах [8-10].

Широкое применение на сегодняшний день находят следующие классификаторы:

- Байесовский классификатор;
- минимаксный подход в классификации;
- классификатор Неймана-Пирсона;
- классификация с помощью деревьев решений;
- классификация методом опорных векторов;
- статистические методы, в частности, линейная регрессия;
- классификация методом ближайшего соседа;
- классификация на основе искусственных нейронных сетей;
- классификация на основе генетических алгоритмов.

Для задач распознавания большого количества классов объектов наиболее эффективным является статистический подход, который основан на анализе числовых данных.

На практике при решении технических задач довольно часто сталкиваются с потребностью установления факта присутствия функциональных или других зависимостей между данными, полученными в ходе серии опытов. Данную зависимость можно оценить, применив корреляционный анализ.

Задача корреляционного анализа - это количественная оценка тесноты и направления связи между двумя признаками (при парной связи) [11].

Применим корреляционный анализ для классификации связанных объектов на бинаризованном изображении.

Алгоритм предложенного метода представлен на рисунке 1.

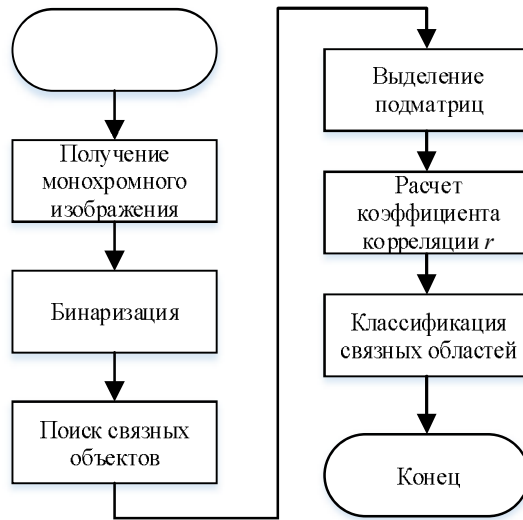


Рис. 1. Алгоритм классификация объектов на основе корреляционного анализа

Рассмотрим блок «Бинаризация». Создадим модель монохромного изображения с 256 градациями серого в виде матрицы значений яркости размером 8x8 (рис. 2).

$$A := \begin{pmatrix} 250 & 255 & 253 & 86 & 8 & 8 & 255 & 255 \\ 3 & 7 & 36 & 6 & 11 & 11 & 5 & 255 \\ 10 & 2 & 74 & 2 & 5 & 7 & 4 & 253 \\ 150 & 251 & 254 & 245 & 3 & 1 & 253 & 195 \\ 170 & 0 & 255 & 255 & 253 & 254 & 230 & 18 \\ 250 & 254 & 0 & 0 & 252 & 4 & 10 & 9 \\ 250 & 255 & 252 & 0 & 252 & 253 & 0 & 7 \\ 254 & 255 & 253 & 251 & 0 & 251 & 251 & 8 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Модель изображения

Осуществим бинаризацию матрицы по следующему правилу: если значение яркости пикселя попадает в промежуток между 248 и 255 включительно – определим его как «тёмный» и присвоим значение «1». В случае же, когда значение яркости пикселя попадает в промежуток от 0 до 15 включительно – определим его как «светлый» и присвоим значение «0». Все остальные пиксели попадают под определение «серый» и им присваивается значение «0» (рис. 3).

$$B := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots \text{cols}(A) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0 \dots \text{rows}(A) - 1 \\ \quad \quad B_{i,j} \leftarrow 0 \text{ if } 248 \leq A_{i,j} \leq 255 \\ \quad \quad B_{i,j} \leftarrow 1 \text{ if } 0 \leq A_{i,j} \leq 15 \\ \quad \quad B_{i,j} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad (B)$$

Рис. 3. Листинг бинаризации исходного изображения в PTC Mathcad

В итоге получаем бинаризованное изображение в виде матрицы B (рис. 4):

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

Рис. 4. Бинаризация исходного изображения

Для определения связности объектов можно использовать четырехсвязные (крестообразные) и восьми-связные алгоритмы.

Рассмотрим более подробно блоки «Расчет коэффициента корреляции» и «Классификация связанных областей».

Для классификации объекта по форме произведем расчет коэффициента корреляции для каждой из под-матриц:

$$r = \frac{m_{xy}}{S_x \cdot S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где n – серия опытов;

x_i – координата числа отличного от нуля по x в матрице Z ;

y_i – координата числа отличного от нуля по y в матрице Z ;

\bar{x} – среднее значение по координате x ;

\bar{y} – среднее значение по координате y .

Алгоритм расчета коэффициента корреляции на изображении представлен на рис. 5.

В соответствии с алгоритмом на первом этапе происходит расчет средних значений по координате x_{cp} и y_{cp} для матрицы Z , где i – номер столбца, j – строки. Далее происходит расчет математического ожидания m_{xy} и среднего квадратического отклонения по x и y (s_x и s_y) и количественная оценка корреляционной зависимости.

Рассмотрим реализацию алгоритма в среде РТС Mathcad. Выделим матрицы со связными объектами как показано на рис. 6. Для удобства отображения пронумеруем пиксели каждого связанного объекта 1...4.

Произведем расчет коэффициента корреляции для каждой матрицы $Z_1...Z_4$. Листинг расчета коэффициента корреляции (1) на примере матрицы Z_2 в Mathcad представлен на рис. 7.

Зададим граничные условия:

1. Прямая – это объект, длина которого намного больше ширины и толщиной не более 2 пикселей.
2. При этом диагональную прямую шириной 2 пикселя будем рассматривать как, либо прямую, либо объект неправильной геометрической формы.
3. Вертикальную/горизонтальную прямую длиной 3 пикселя, шириной 2 пикселя будет рассматривать как, либо прямую, либо эллипс, а длиной более 3 пикселей – как прямую.

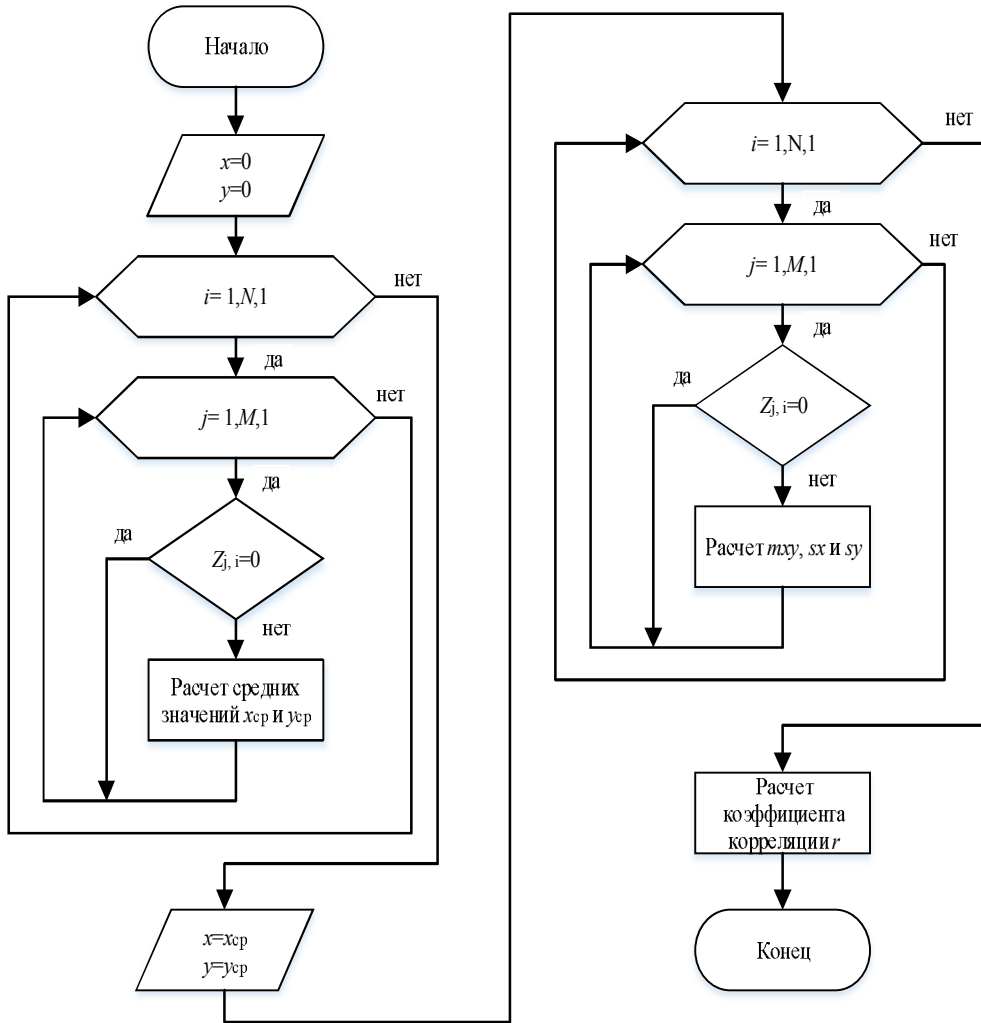


Рис. 5. Алгоритм расчета коэффициента корреляции

$$Z := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 4 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

Рис. 6. Матрица со связными объектами

```

K(Z2) :=
  x ← 0
  y ← 0
  for i ∈ 0..cols(Z2) - 1
    for j ∈ 0..rows(Z2) - 1
      continue if Z2i,j = 0
      if Z2i,j ≠ 0
        x ← x + i + 1
        y ← y + j + 1
        K ← (  $\frac{x}{\text{cols}(Z2) \cdot \text{rows}(Z2)}$      $\frac{y}{\text{cols}(Z2) \cdot \text{rows}(Z2)}$  )
  x ← K0,0
  y ← K0,1
  mxy ← 0
  sx ← 0
  sy ← 0
  for i ∈ 0..cols(Z2) - 1
    for j ∈ 0..rows(Z2) - 1
      continue if Z2i,j = 0
      if Z2i,j ≠ 0
        mxy ← mxy + (i + 1 - x) · (j + 1 - y)
        sx ← sx + (i + 1 - x)2
        sy ← sy + (j + 1 - y)2
  (  $\frac{mxy}{\sqrt{sx \cdot sy}}$  )
  
```

Рис. 7. Листинг расчета коэффициента корреляции для поиска линейных и эллипсовидных объектов на изображении

Для заданных граничных условий проведена серия опытов. В результате получены диапазоны значений коэффициента корреляции для классификации объектов на изображении:

- при коэффициенте корреляции $r = 0$ вся область подматрицы изображения занята одним связным объектом;
- при коэффициенте корреляции $0 < r < 0,2$ область подматрицы изображения является объектом неправильной геометрической формы, которая близка к эллипсовидной;
- при коэффициенте корреляции $0,2 \leq r < 0,68$ связная область подматрицы изображения является эллипсовидным объектом;
- при коэффициенте корреляции $0,68 \leq r < 0,88$ связная область подматрицы изображения является объектом неправильной геометрической формы;
- при коэффициенте корреляции $0,88 \leq r \leq 1$ связная область подматрицы изображения является линейным объектом.

Таким образом, на анализируемой модели изображения обнаружено четыре связных объекта: эллипсовидной, линейной, неправильной формы, а также область, целиком занятая одним объектом (рис. 8).

$$\begin{aligned}
 K(Z1) &= 0.299 & K(Z2) &= 0 & K(Z3) &= 0.979 & K(Z4) &= 0.709 \\
 Z1 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} & Z2 &= \begin{pmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{pmatrix} & Z3 &= \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} & Z4 &= \begin{pmatrix} 4 & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рис. 8. Результаты подсчета коэффициента корреляции

Заключение. Анализ результатов позволяет сделать вывод о возможности применения данной методики для классификации линейных и эллипсовидных объектов на изображениях.

К преимуществам данного метода можно отнести простоту реализации на любом языке программирования, инвариантность к направлению линий на изображении, отсутствие необходимости дополнительной фильтрации. Недостатком является неоптимальность алгоритма, которая сказывается на времени вычислений при увеличении размерности матрицы. Следует отметить, что на результаты классификации влияет предварительная подготовка данных, а также искажения, которые присутствуют при использовании оптико-электронных методов контроля дефектов материалов и изделий.

Дальнейшая модификация алгоритма должна дать возможность определять пересекающиеся объекты на изображении, например, при контроле царапин листовых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Modrzyk N. Java Image Processing Recipes with OpenCV and JVM. Apress, 2018. 356 p.
2. Прэйтт У. Цифровая обработка изображений (в 2-х книгах) М.: Мир, 1982. 311 с., 479 с.
3. Gonzales R., Woods R. Digital Image Processing. 4th Edition. Pearson, 2018. 797 p.
4. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Князь В. А., Ходарев А. Н., Моржин А. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК Пресс, 2007. 464 с.
5. Russ J., Neal B. The Image processing handbook. CRC Press, 2016. 1046 p.
6. McAndrew A. A Computational introduction to digital image processing 2th edition. CRC Press, 2016. 643 p.
7. Власова Т. М., Калмыков Т. М. Алгоритм и программа распознавания контуров изображений как последовательности отрезков цифровых прямых // Математичні машини і системи, 2005. №4. С. 84-95.
8. Бусленко Н. П., Шрейдер Ю. А. Метод статистических испытаний. М.: Физматгиз, 1961. 226 с.
9. Орлов А. А. Методы, модели и алгоритмы автоматической обработки снимков для определения дефектов в промышленных изделиях: дис. ... д-ра тех. наук. Владимир, 2010. 365 с.
10. Разин И. В. Автоматизированный комплекс анализа полутоновых изображений на основе принципов инвариантного их описания: дис. ... канд. тех. наук. Спб, 2003. 192 с.
11. Минашкин В. Г., Шмойлова Р. А., Садовникова Н. А., Моисейкина Л. Г., Рыбакова Е. С. Теория статистики. М.: Изд. Центр ЕАОИ, 2008. 296 с.

REFERENCES

1. Modrzyk N. Java Image Processing Recipes with OpenCV and JVM. Apress, 2018. 356 p.
2. Preht U. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy (v 2-kh knigakh) M.: Mir, 1982. 311 s., 479 s.
3. Gonzales R., Woods R. Digital Image Processing. 4th Edition. Pearson, 2018. 797 p.
4. Vizil'ter Yu. V., Zheltov S. Yu., Knyaz' V. A., Khodarev A. N., Morzhin A. Obrabotka i analiz tsifrovyykh izobrazheiy s primerami na LabVIEW IMAQ Vision. M.: DMK Press, 2007. 464 s.
5. Russ J., Neal B. The Image processing handbook. CRC Press, 2016. 1046 p.
6. McAndrew A. A Computational introduction to digital image processing 2th edition. CRC Press, 2016. 643 p.
7. Vlasova T. M., Kalmykov T. M. Algoritm i programma raspoznavaniya konturov izobrazheniy kak posledovatel'nosti otrezkov tsifrovyykh pryamykh // Matematichni mashini i sistemi, 2005. №4. S. 84-95.
8. Buslenko N. P., Shreyder Yu. A. Metod statisticheskikh ispytaniy. M.: Fizmatgiz, 1961. 226 s.
9. Orlov A. A. Metody, modeli i algoritmy avtomaticheskoy obrabotki snimkov dlya opredeleniya defektov v promyshlennykh izdeliyakh: dis. ... d-ra tekh. nauk. Vladimir, 2010. 365 s.
10. Razin I. V. Avtomatizirovanny kompleks analiza polutonovykh izobrazheniy na osnove printsipov invariantnogo ikh opisaniya: dis. ... kand. tekh. nauk. Spb, 2003. 192 s.

11. Minashkin V. G., Shmoylova R. A., Sadovnikova N. A., Moiseykina L. G., Rybakova E. S. Teoriya statistiki. M.: Izd. Tsentr EAOI, 2008. 296 s.

ОБ АВТОРЕ

Булатов Виталий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики и робототехники, Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, bulatov-vitaly@yandex.ru

Bulatov Vitaly Vladimirovich, candidate of technical Sciences, associate Professor of electromechanics and robotics, St.-Petersburg state University of aerospace instrumentation, bulatov-vitaly@yandex.ru

Дата поступления в редакцию: 25.04.2019 г.

После доработки: 23.05.2019 г.

Дата принятия к публикации; 01.06.2019 г.