

УДК 658.512.011

ОПТИМИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МИКРООБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ КОРРЕКЦИИ ИСКАЖЕННЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЙ

Жуманов И.И.¹, Сафаров Р.А.², Джуманов О.И.¹

¹ Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

² Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Самарканд, Узбекистан

⁺ Rustammix.rs@gmail.com

Аннотация. Исследован широкий спектр дескрипторных моделей идентификации микрообъектов с механизмами, обнаружения и коррекции искаженных точек на изображениях. Дескрипторные модели исследованы в условиях внутренних и внешних воздействий, присутствия помех, смази точек, априорной ограниченности и неопределенности. Разработан дескрипторный механизм идентификации на основе вложения графа поиска точек и представления изображения в виде числовых, спектральных характеристик, декомпозиции матрицы Лапласа. Решены уравнения, определены собственные значения и вектора матрицы Лапласа. Реализованы вычислительные схемы параболических, ортогонально-алгебраических полиномов, нелинейных авторегрессий, интерполяционного полинома Добеши 4, кубической интерполяционной сплайн-функций, трехслойной нейронной сети. Реализован программный комплекс идентификации, распознавания и классификации, который протестирован на примере изображений пыльцевых зерен.

Ключевые слова: идентификация, обработка изображений, микрообъекты, дескриптор, оптимизация, коррекция искаженных точек, программный комплекс.

1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире наблюдается активное развитие научной методологии применения методов, моделей, алгоритмов интеллектуальных систем анализа данных, направленных на извлечение и использовании различных характеристик, особенностей, свойств информации из изображений при идентификации, распознавание и классификации микрообъектов [1, 2].

Результаты исследования, которых востребованы в системах охраны окружающей среды и экологии, палинологии, медицины, управления технологическими процессами при создании надежных механизмов для анализа, идентификации картинок, в частности, пыльцевых зерен, одноклеточных микроорганизмов, медицинских объектов и др. [3, 4]. В существующих методах и алгоритмах решения задач идентификации микрообъектов условия априорной недостаточности, неопределенности, нестационарности не рассматривается. Совершенствование методологии исследования требует построения механизмов оптимизации, позволяющие использовать структурных информативных составляющих микрообъектов изображений – геометрических, морфологических, текстурных, статистических и динамических характеристик изображений [5, 6].

В настоящей работе исследованы и разработаны механизмы извлечения информативных, обнаружения и коррекции искаженных точек на изображениях микрообъектов, которые вызваны естественной вариабельностью, воздействием помех, наличием смази и других дефектов [7, 8]. Для высокоточной идентификации предложен подход, направленный на совершенствование дескрипторов, содержащих механизмов обнаружения, коррекции искаженных точек, распознавания и классификации изображений микрообъектов [9, 10].

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Дескрипторные механизмы обнаружения и коррекции искаженных точек на изображениях микрообъектов выделяет характерных фрагментов, частей изображения, проводит поиск, проверку качества идентификации, надежность результатов оцениваются путем сравнения с характеристиками модальных примеров [11, 12].

Наиболее распространены цветные локальные дескрипторы, двоичные шаблоны и применяются их модифицированные варианты [13, 14]. Дескрипторы двумерных изображений основаны на локальные двоичные, спектральные представления и используются при аппроксимации различных геометрических форм микрообъектов [15, 16].

В дескрипторах, со спектральным представлением в качестве характеристик задаются параметры такие, как интенсивность, цвет, градиенты, статистические свойства.

В системах идентификации микрообъектов, в частности, пыльцевых зерен, одноклеточных микроорганизмов медицинских объектов, полезных минералов в составе горной массы представляет большой интерес изучению SIFT (Scale Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features), DAISY, HoG (Histogram of Gradients), корреляционные шаблоны SAD (Sum of Absolute Differences), SSD (Sum of Squared Differences), NCC (Normalized Cross Correlation), LGP (Local Gradient Pattern), CCH (Chain Code Histograms), фильтра Хаара. Однако эти преобразователи и детекторы изображений микрообъектов при реализации связаны затратными алгоритмами [17, 18].

Применение дескриптора с базисной функцией Фурье требует механизма разреженного кодирования, использующего набор кодов, для совершенствования дескрипторных механизмов изображений предложены подходы, направленные на выделения границ идентифицируемого объекта в условиях резкой смены освещения, наличия взаимных перекрытий, сложной текстуры, фона, изменения ракурса представления микрообъектов. Модифицирован дескрипторный механизм с базисной функцией Фурье для прослеживания, обнаружения и исправления искаженных точек на изображение путем вложения в его структуру графа для тех случаев, когда в вершине графа используются величины центры масс сегментов, особенности, изменения ракурса изображения. При этом, дескрипторный механизм обладает преимуществом существенного повышения устойчивости алгоритмов обработки изображений по сравнению с простым механизмом вложения графа в вершине, которого рассматривается его особые точки.

Когда вложение графа в векторном пространстве базируется на преобразование Юнга–Хаусхолдера и используются составные кривые графа, описания связей точек, тогда идентификация изображения начинается с задания матрицы значений параметров. Особенностью, применяемой матрицы для идентификации изображения является инвариантность к повороту при поиске нужного объекта [19].

В результате, модифицированный механизм искаженные точки на изображение обнаруживает при повороте с углом до 50° в пространстве. Дескрипторный механизм, использующий детектор SURF, вложения графа изображение – эталона обеспечивает более точную идентификации и классификация микрообъектов.

Механизм, использующий вложение графа с триангуляцией Делона способствует формированию всех особых точек на изображение, выделению и использованию связанных компонент [20]. Механизм в варианте кластеризации микрообъектов по особым точкам задает параметр W , удаляет все ребра графа, фиксирует длины, которые имеют большое значение, чем значение параметра W . Значение параметра W подбирается из зоны минимума между этими пиками. Наиболее близкие вершины остаются соединенными. Для подбора параметра W строится гистограмма по парному расстоянию между вершинами.

Выделяется выраженная кластерная структура, которая имеет два пика. Один пик, соответствует внутри кластерный, а второй меж кластерный расстояниям.

Механизм с вложением графа в вершине назначаются центры масс сегмента, то формирует только те сегменты, которые соответствуют наиболее характерным особенностям изображения. Если полученном сегменте отсутствует эта особенность либо число их будут меньше, чем 3, то он в вычислениях не рассматривается.

Нормализованная матрица в дескрипторном механизме изображения на основе применения преобразования Лапласа с включением в структуру вложения графа рассчитывается в виде [4]:

$$L_n = \begin{cases} 1, & \text{if } u = v \text{ and } d_v \neq 0; \\ -\frac{1}{\sqrt{d_u d_v}}, & \text{if } A(u, v) = 1; \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

где d_v - степени вершин u и v соответственно.

В случае сравнения изображения - кандидата с эталоном на вершине графа используется вектор числовых характеристик, то нормализованная матрица Лапласа задается в виде

$$L_n = \Phi \Lambda \Phi^T,$$

где Λ - диагональная матрица собственных значений $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}$, Φ - матрица собственных векторов $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{|V|}$.

В дескрипторном механизме с вложением графа в вершине представляется вектор спектральных характеристик, то появляется возможность в приближенном сравнении структур графов, не связанных с точным сопоставлением и использования свойства инвариантности к повороту изображения на плоскости. Однако, механизм связан с вычислением теплового ядра.

Определение теплового ядра изображения требуют решения уравнений с помощью собственных значений и собственных векторов матрицы Лапласа, которые представляются в виде

$$H_t(u, v) = \sum_{i=1}^{|V|} e^{-\lambda_i t} \phi_i(u) \phi_i(v),$$

где λ_i - собственные значения, ϕ_i - собственные векторы, $H_t(u, v)$ - декомпозиция Юнг-Хаусхолдера; $H_t = Y^T Y$, $Y = (y_1 \dots y_u \dots y_{|V|})$ - матрица координат размером $|V| \times |V|$.

Каждый столбец матрицы является вектором координат соответствующей вершины. Раскрывая его получаем следующее выражение

$$Y = e^{-(\Lambda t/2)} \Phi^T.$$

Для вершины u координатный вектор рассчитывается в виде

$$y_u = \left(e^{-\frac{\lambda_1 t}{2}} \phi_1(u), e^{-\frac{\lambda_2 t}{2}} \phi_2(u), \dots, e^{-\frac{\lambda_{|V|} t}{2}} \phi_{|V|}(u) \right).$$

Отмечены следующие характерные моменты исследования:

- при вложении графа используется дифференциальная геометрия;
- для описания связей между элементами используются составные кривые;
- кратчайшее расстояние характеризуется весом ребра;
- для не взвешенного графа принято кратчайшее расстояние $d_G = 1$;
- угол поворота α вычисляется в виде $\alpha = 1/2R(u, v)$;
- евклидово расстояние равно длине хорды в рассматриваемой окружности между точками u и v $d_E = 2R(u, v) \sin(\alpha)$;
- в дальнейших расчетах необходимо избавиться от вычисления функции синуса неизвестного угла.

Предложена методика, использующего разложение функцию $\sin(\alpha)$ в ряде Тейлора, $x = 0$. Тогда евклидово расстояние определяется, как

$$d_E = 2R(u, v) \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \dots \right).$$

Использована точность до двух членов последовательности ряда

$$d_E = 1 - \frac{1}{24R(u, v)^2}.$$

Решение уравнения заключается в отыскании значения кривизны $R(u, v)$ для точек u и v в виде $k(u, v) = \sqrt{24(1 - d_E)}$.

Подобие между матрицами графов рассчитывается, как

$$HD(G_1, G_2) = \max_{i \in V_1} \max_{j \in V_1} \min_{I \in V_2} \min_{J \in V_2} \|k_2(I, J) - K_1(i, j)\|,$$

где $G_1 = (V_1, E_1, k_1)$ и $G_2 = (V_2, E_2, k_2)$ - сравниваемые матрицы графов, V_1, V_2 - набор вершин, E_1, E_2 - набор ребер; k_1, k_2 - матрицы кривизны.

Алгоритм структурного дескрипторного механизма изображения микрообъекта на основе вложения графа

Разработан алгоритм структурного дескрипторного механизма изображения микрообъекта на основе вложения графов, который включает следующие шаги.

Шаг 1. Выделяются особенности изображения - кандидата и они сравниваются с характеристиками изображения - эталона;

- Шаг 2. Проводятся кластеризации изображений;
 Шаг 3. Расчет нормализованных матриц Лапласа и тепловое ядро;
 Шаг 4. Проецирование координат вершин графов;
 Шаг 5. Строятся матрицы кривизны;
 Шаг 6. Вычисляется матрица расстояний между характеристиками графов изображения-эталона и кандидата;
 Шаг 7. Определяется степень близости изображения – кандидата и эталона;
 Шаг 8. Проводятся кластеризации микрообъектов в пространстве точек с меньшей размерности.
 Разработан программный комплекс идентификации, распознавания, классификации микрообъектов в среде параллельных вычислений «CUDA».

Результаты тестирования реализованных дескрипторных механизмов изображения микрообъекта позволяют установить следующие их положительные свойства:

- обладает инвариантностью к повороту изображения на плоскости;
- обладает способностью обнаруживать объекты изображения с углом поворота в пространстве до 50° ;
- использует центров масс сегментов и особенностей в вершине графа вложения;
- повышается устойчивость алгоритмов идентификации изображений.

На рис. 1 а) проиллюстрировано семейство графиков эффективности механизма обнаружения и коррекции искаженных точек на изображение микрообъекта, который ориентирован на использование следующих моделей идентификации: график 1 – параболический полином, 2 – ортогональный алгебраический полином, 3 – авторегрессии, 4 – интерполяционный полином Добеши, 4, 5 – кубической интерполяционной сплайн-функцией, 6 – трехслойную нейронную сеть.

Показаны графики функции

$$Q = n_{\text{пр}} / M,$$

где $n_{\text{пр}}$ – число правильного обнаружения ошибочных точек, M – общее число зафиксированных точек на контуре изображения.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование проведено в зависимости от изменений угла поворота изображения в трехмерном пространстве, на рис. 1 б) показаны графики функции риска $\Lambda = n_{\text{нп}} / M$, где $n_{\text{нп}}$ – количество не правильного обнаружения искаженных точек.

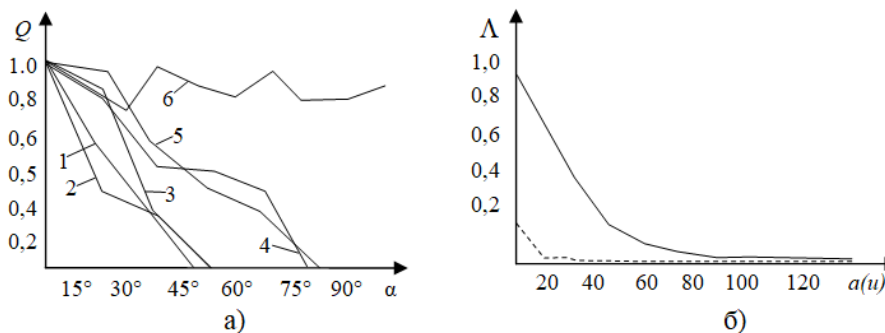


Рис. 1. Эффективность дескрипторных механизмов в зависимости от видов моделей идентификации изображения

Эффективность дескрипторных механизмов исследована в зависимости от видов модели идентификации, числа границ $a(u)$ сегментов изображений микрообъектов. Численные результаты приведены для двух контуров изображения.

Результаты тестирования дескрипторных механизмов изображений микрообъектов позволяют установить следующие положительные моменты разработок:

- при любом значении угла поворота изображения на плоскости XOY доля правильного обнаружения искаженных точек составляет не ниже 90%;
- характеристики графа не зависят от видов маркировки его вершин;
- с увеличением углов поворота, кивка и наклона снижается значение коэффициента правильного обнаружения искаженных точек на изображении;
- большая точность идентификации достигается при вращении объекта на плоскости XOY ;

- дескрипторный механизм идентификации обладает свойством инвариантности на плоскости с углом поворота до 50° и способности обнаружения искаженных точек на выделенных объектах изображения;

- использование центров масс сегментов и особенностей изображения на вершине графа способствует повышению его устойчивости.

Дескрипторные механизмы идентификации изображения микрообъекта при реализации, обусловлены с выполнением следующих условий: выделенные сегменты представляются множеством точек, кривые сегментов считаются не выпуклыми, сегменты не являются замкнутыми кривыми, кривые - границы сегмента не являются замкнутыми, кривая сегмента представляется в параметрической форме.

Реализации механизмов связаны с решением следующих задач:

- формирование массивов координат точек изображения (x, y) ;

- увеличение число точек до величины $2L_i$ и записать их во вновь образованные ячейки;

- записать значения переменной (x, y) в обратном порядке в виде $x(L_i + \ell) = x(L_i - \ell)$, $\ell = L_i + 1, \dots, 2L_i$;

- использование кривой с минимальной толщиной;

- решение системы уравнений видов

$$x(y(\ell)) - x(y(L_i - \ell)) = \pm 1; \quad y(x(\ell)) - y(x(L_i - \ell)) = \pm 1;$$

- ввод индикатора результатов;

- K - точечная дискретная граница контура минимальной толщины рассматривается на плоскости XU ;

- фиксируется начальная точка (x_0, y_0) , значение которой считается произвольное;

- начиная с (x_0, y_0) , обходится контур против часовой стрелки;

- фиксируются координаты, встречающихся точек с границами

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{K-1}, y_{K-1});$$

- координаты точек записываются в параметрической форме

$$x_k = f_1(k), \quad y_k = f_2(k);$$

- граница кривой представляется последовательностью пар

$$s(k) = [f_1(k), f_2(k)], \quad k = 0, 1, 2, \dots, K-1;$$

- каждая пара координат рассматривается как

$$s(k) = f_1(k) + j \cdot f_2(k)x;$$

- рассматриваются координаты x и y , в которых значения осей задаются последовательностью действительных, мнимых и комплексных чисел;

- для аппроксимации кривой контура с минимальной толщиной используется преобразование Фурье конечной последовательности $s(k)$

$$a(u) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-j2\pi uk/K}, \quad u = 0, 1, 2, \dots, K-1,$$

где $a(u)$ - комплексные коэффициенты (границы);

- используется обратное преобразование Фурье для восстановления границу $s(k)$ в виде

$$s(k) = \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{j2\pi uk/K};$$

- сформированные дескрипторы Фурье группируются в пары по частотам для которых соответствует дескриптор на положительной частотной полуоси с точно такими же частотными координатами;

- для упрощения реализации вместо всех коэффициентов Фурье используются только первые M пары из них, что позволяет записать модели преобразования в виде

$$\hat{s}(k) = \sum_{u=0}^{M-1} a(u) e^{j2\pi uk/K}.$$

Тестирование реализации дескрипторных механизмов идентификации позволяет выявить целый ряд важных особенностей. Если для анализа изображения используется преобразование Фурье,

то такие механизмы способны описывать высокочастотные составляющие и мелкие детали формы объекта. Чем ниже частота спектра, тем более общие контуры и крупные детали формы описываются, и наоборот – увеличение числа гармоник позволяет анализировать более тонкие элементы границы объекта.

Для построения набора точек на контуре выбирается исходная точка. В случае, когда всего используется $M=98$ точек, последовательность задаётся формулой

$$a_p(k) = x(k - k_0) + j \cdot y(k - k_0).$$

которая определяет номера точек относительно выбранной начальной точки. Таким образом, выбор этой точки играет важную роль, поскольку влияет на эффективность работы дескрипторных механизмов. Разные алгоритмы по-разному реагируют на изменение начальной точки, поэтому её выбор требует особого внимания.

Когда формируется полный набор Фурье-дескрипторов, изображение становится инвариантным относительно таких преобразований, как перемещение, поворот, масштабирование, деформация и смещение объекта на изображении. Инвариантность к сдвигу достигается за счёт присвоения нулю нулевой гармоники a_0 . Все остальные коэффициенты остаются инвариантными к перемещению объекта.

При смещении положения объекта каждый сегмент контура описывается своими относительными координатами. Когда происходит пересчёт сегментов, координаты точек контура выражаются относительно центра прямоугольника, в котором расположен объект, или относительно центра масс. Если контур масштабируется с коэффициентом α , то и сами Фурье-дескрипторы масштабируются этим же коэффициентом. Для устранения влияния масштабирования используют нормировку, деля коэффициенты на абсолютное значение первой гармоники $|a_1|$. Такой подход позволяет достичь стандартной, нормированной величины дескрипторов. Отдельное влияние оказывает направление обхода контура. Если объект обходится против часовой стрелки, первым коэффициентом будет $|a_1|$; если же обход идёт по часовой стрелке, меняется знак мнимой части коэффициента.

Кроме того, дескрипторы, соответствующие разным индексам, отражают частотные компоненты формы: чем выше индекс, тем более высокочастотные детали содержатся в спектре, что позволяет фиксировать различия между контурами объектов разных размеров и форм.

Эффективность дескрипторных механизмов идентификации изображения микрообъектов с младшими индексами у контуров одинаковой формы, но разного масштаба приблизительно одинакова.

Таблица 1. Дескрипторы идентификации изображения пылевых зерен

Число точек K	Параметры дескриптора изображения								
	$ a_{-5} $	$ a_{-4} $...	$ a_{-1} $	$ a_0 $...	$ a_3 $	$ a_4 $	$ a_5 $
220	0,47	0,01	...	38,00	0,62	...	0,39	0,01	0,00
124	0,31	0,04	...	21,80	0,59	...	0,32	0,04	0,00
356	1,05	0,03	...	62,86	0,68	...	1,00	0,03	0,00
516	1,46	0,02	...	90,94	0,65	...	1,42	0,02	0,00
196	0,63	0,04	...	34,91	0,63	...	0,66	0,04	0,00

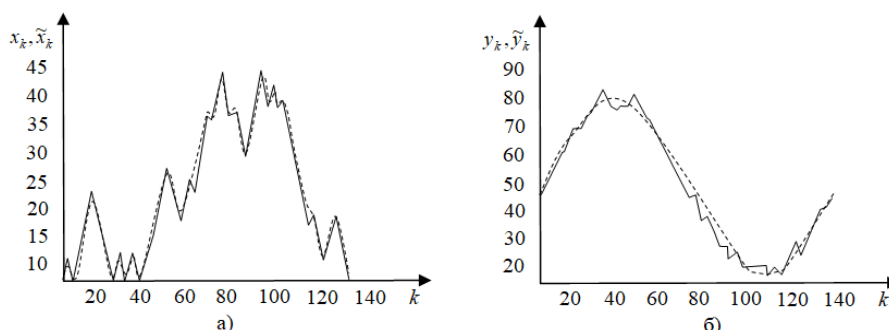


Рис. 2. Эффективность восстановления линий пылевого зерна

В табл. 1 приведены данные составляющих пяти Фурье - дескрипторов $|a_i|$ для различных моделей, $i = \overline{-5,5}$ по их абсолютным значениям. Результаты получены на примере идентификации

изображений центральных линий пыльцевых зерен с различной длиной при решении задач селекции и семеноводства пшеницы.

На рис. 2 показаны кривые, которые получены после перехода к М<К границам сегмента в виде: $\tilde{x}_k = \tilde{f}_1(k)$, $\tilde{y}_k = \tilde{f}_2(k)$. График 1 (сплошная линия) кривая исходного контура; график 2 (штриховая линия) кривая восстановленного контура.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны научно-методические основы, конструктивные подходы, принципы и модели для построения дескрипторных алгоритмов идентификации микрообъектов с механизмами прослеживания, обнаружения и исправления искаженных точек на произвольной, выделенной кривой из бинарных изображений. Предложены операторы, направленные на представление любой кривой изображения в виде контура с минимальной толщиной, множеством точек, нижней и верхней границами, точками в системе координат. Границы контура лучше идентифицируются дескрипторами Фурье, описывается в декартовой системе координат и при этом учитывается последовательность преобразования типа «сдвиг». Реализованы механизмы, обеспечивающие инвариантность относительно геометрических преобразований по модулю дескриптора.

Инвариантность к ориентации сегмента относительно декартовой системы координат обеспечивается путем использования механизма отбора информативных точек. Предложено применение трехслойной модели нейронной сети для аппроксимации произвольной кривой в виде контура изображения минимальной толщины.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гонсалес Р., Вудс Р. (2005). Цифровая обработка изображений //М.: Техносфера, – С. 1072.
- [2] Jumanov, Isroil, and Rustam Safarov. (2022). "Optimization of the processing of images of pollen grains based on the use of their specific characteristics and geometric features." AIP Conference Proceedings. Vol. 2637. No. 1. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0118857>.
- [3] Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И. (2000). Цифровая обработка изображений в информационных системах //Новосибирск: изд-во НГТУ, -168 с.
- [4] Семин Л.А. (2013). О построении дескрипторов и настройке системы для распознавания образов // «Актуальные проблемы естественных и математических наук»: материалы международной заочной научно-практической конференции (04.03.2013г.). Новосибирск: Издательство СибАК», С. 31–35.
- [5] Jumanov I., Safarov R. (2023). Optimization of recognition of microorganisms based on histological information structures of images //2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – IEEE. – С. 679-684. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139033.
- [6] Л. Шапиро, Дж. Стокман. (2006). Компьютерное зрение, Издательство: Бинوم. Лаборатория знаний, 752 с.
- [7] Jumanov I.I., Djumanov O.I., Safarov R.A. (2021). Mechanisms for optimizing the error control of micro-object images based on hybrid neural network models //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, – Т. 2402. – №. 1. <https://doi.org/10.1063/5.0074019>.
- [8] Кухаренко Б.Г. (2011). Алгоритмы анализа изображений для определения локальных особенностей и распознавания объектов и панорам//Информационные технологии: Научно-технический и научно-производственный журнал. - №2. - 32 с.
- [9] Jumanov I.I., Djumanov O.I., Safarov R.A. (2021). Methodology of optimization of identification of the contour and brightness-color picture of images of micro-objects //2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE,– Pp. 190-195.
- [10] Голубев А.С. (2013). Особенности распознавания методом ближайшего элемента в алгоритмах вычисления оценок // Прикладная информатика. № 1. С. 18–25.
- [11] Jumanov I.I., Safarov R.A. (2022). Optimization of recognition of micro-objects based on reducing excessive information structures of images //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing,– Vol. 2373. – №. 7. – Pp. 072030. DOI 10.1088/1742-6596/2373/7/072030.
- [12] Рожков М.М. (2011). Система неадаптивного распознавания образов в условиях ограниченного количества информации: монография. Владимир: Издательство Владимирского государственного университета, - 120 с.

- [13] *Jumanov I.I., Safarov R.A.* (2023). Optimization of identification of micro-objects with blurring of image points //2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE,– С. 549-554. DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272756.
- [14] *Astola J., Kuosmanen P.* (1997). Fundamentals of nonlinear digital filtering // Boca Raton (USA): CRC Press LLC, – p. 276.
- [15] *Jumanov I.I., Safarov R.A., Djumanov O.I.* (2022). Detection of distorted points on images of micro-objects based on the properties and peculiarities of the wavelet-transformation //2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE,– С. 794-799. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896243.
- [16] *Petrou M., Garcia P.* (2011). Image Processing: Dealing With Texture. John Wiley,– 631 p.
- [17] *Борисенко Д.И.* Методы поиска угловых особенностей на изображениях / Д.И.Борисенко // Молодой учёный. - №5. Т.1. - С. 120-123.
- [18] *Jumanov I., Djumanov O., Safarov R.* (2021). Improving the quality of identification and filtering of micro-object images based on neural networks //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, – Т. 304. – P. 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130401007>.
- [19] *Jumanov, I.I., Safarov, R.A.* (2024). Control of Distorted Image Points Based on the Mechanism of Identification of a Micro-object with a Cosine Transform. In: Aliev, R.A., et al. 12th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2022). WCIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 912. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53488-1_24.
- [20] Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

Поступила в редакцию 26.07.2025

Цитирование: *Жуманов И.И., Сафаров Р.А., Джуманов О.И.* (2025). Оптимизация идентификации микрообъектов на основе использования дескрипторов коррекции искаженных точек изображений. *Международный журнал теоретических и прикладных вопросов цифровых технологий*, 8(4), –С. 115-122. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v8i4.311>.

OPTIMIZATION OF MICRO-OBJECT IDENTIFICATION USING DISTRIBUTORS FOR CORRECTION OF DISTORTED IMAGE POINTS

Jumanov I.I.¹, + Safarov R.A.², Djumanov O.I.¹

¹ Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

² Samarkand branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Samarkand, Uzbekistan

+ Rustammix.rs@gmail.com

Abstract. A wide range of discrete models of micro-object identification and mechanisms for tracking, detecting and correcting distorted points in images have been studied. Under the conditions of internal and external influences, the presence of noise (interference), lubrication of points, a priori limitation and the presence of uncertainty. A discreptor identification mechanism has been developed based on embedding a point search graph and image representation in the form of numerical, spectral characteristics, decomposition of the Laplace matrix. The equations are solved, the eigenvalues and vectors of the Laplace matrix are determined. Parabolic, orthogonal algebraic polynomials, non-linear autoregressions, Daubechies 4 interpolation polynomial, cubic interpolation spline function, three-layer neural network are implemented. A software package for identification, recognition and classification has been implemented, which has been tested on the example of pollen grain images.

Keywords: identification, image processing, micro-objects, discreptor, optimization, correction of distorted points, software package.