

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 004.932

DOI 10.18413/2411-3808-2018-45-4-760-768

СИНТЕЗ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

SYNTHESIS OF PANORAMIC IMAGES AND THEIR USE IN CYTOGENETIC STUDIES

Т.Н. Балабанова¹, И.В. Трапезникова²
T.N. Valabanova¹, I.V. Trapeznikova²

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85

² Областное государственное автономное образовательное учреждение дополнительного
профессионального образования «Белгородский институт развития образования»,
Россия, 308007, Белгород, ул. Студенческая, 14

¹ Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

² Regional State Autonomous Institution of Supplementary Vocational Education
«Belgorod Institute of Education Development»,
14 Belgorod, Student St, 308007, Russia

E-mail: sozonova@bsu.edu.ru, trapeznikova_iv@beliro.ru

Аннотация

Рассматривается понятие «панорамное изображение», применение панорамных изображений в цитогенетических исследованиях. Приводится алгоритм автоматического получения панорамного изображения, математические основы вариационного метода оценки производных первого и второго порядка. В качестве основного алгоритма получения панорамного изображения используется алгоритм Speeded Up Robust Features (SURF). Вычисление производных первого и второго порядков при реализации данного алгоритма осуществляется с использованием вариационного метода оценки производных. Такая модификация алгоритма SURF позволяет осуществлять работу с изображениями, содержащими шумы различного происхождения, так как используемый метод оценок производных является устойчивым к шумам. Разработанный алгоритм применялся для цитогенетических исследований серии снимков двух видов мучнистых червецов.

Abstract

The concept of "panoramic image", the use of panoramic images in cytogenetic studies is considered in the article. The algorithm for automatically obtaining a panoramic image is presented, the mathematical foundations of the variational method for estimating the first and second order derivatives is also shown. In this article, a panoramic image is an image obtained by "stitching" from several images. Panoramic images are now widely used in various fields of human activity. As the basic algorithm for obtaining a panoramic image, the algorithm Speeded Up Robust Features (SURF) is used. The first and second order derivatives are calculated in this algorithm using the variational method of estimating derivatives founded in BSU. This modification of the SURF algorithm makes it possible to work with images containing noises of various types, because the method used to evaluate the derivatives is noise-resistant. The developed algorithm was applied for cytogenetic studies of a series of images of two species of mealybugs.

Ключевые слова: панорамное изображение, «сшивки» изображений, цитология, цитогенетика, градиент изображения.

Keywords: panoramic image, «sewing» together of images, cytology, cytogenetics, gradient of image.

Введение

В данной статье под панорамным изображением понимается изображение, полученное путем «сшивки» из нескольких.

Панорамные изображения в настоящее время находят широкое применение в различных сферах деятельности человека. Так, например, можно привести их использование в таких областях, как офтальмоскопия, исследование препаратов в гистологии, цитологии, гематологии, бактериологии.

Применение панорамных изображений имеет большие преимущества в биологии, медицине (гистологии, цитологии, эндоскопии), так как позволяет исследователю получить полное представление об изучаемом объекте и уменьшить методическую составляющую погрешности при дальнейшем анализе изображений, что в конечном итоге позволяет получать более точные результаты исследования.

Существует ряд методов и алгоритмов, используемых для получения панорамных изображений. Однако задача получения панорамного изображения возникла сравнительно недавно, и в настоящее время активно ведется работа по созданию новых методов «сшивки» изображений и совершенствованию существующих. Также активный рост количества программных продуктов, позволяющих получать панорамное изображение из серии снимков, обусловлен множественностью сфер применения изображений, полученных по данным технологиям.

Однако используемые в настоящее время алгоритмы получения панорамных изображений не лишены недостатков. Одним из них является чувствительность алгоритмов к воздействию шумов различного происхождения. При использовании изображений аэрофотосъемки в качестве шумов возникают атмосферные явления и шумы аппаратуры, при помощи которой ведется съемка. При использовании изображений с микроскопов также возникают помехи, связанные с аппаратурой, а также со спецификой исследуемых объектов, так как в качестве таковых зачастую выступают различные биологические вещества, во многих случаях прошедшие предварительное окрашивание.

Этими факторами обусловлено большое количество исследований в настоящее время, посвященных созданию панорамных («сшитых») изображений.

Но, несмотря на большое количество предлагаемых методов и алгоритмов создания панорамного изображения, все они базируются на определенном алгоритме.

Алгоритм автоматического получения панорамного изображения можно представить в виде нескольких обобщенных этапов:

1. Нахождение особых ключевых точек на каждом из изображений.
2. Сопоставление найденных ключевых точек между отдельными изображениями.
3. Нахождение матрицы геометрического преобразования (ГП) между связанными изображениями.
4. Непосредственное «склеивание» изображений попарно в соответствии с матрицей геометрического преобразования до полного получения панорамного изображения.

Следует отметить, что качество результирующего панорамного изображения наиболее сильно зависит от качества нахождения ключевых точек и качества их сопоставления.

Все исследования, ведущиеся в настоящее время в области получения панорамных изображений, направлены на качественное получение особых точек и построение геометрического преобразования, позволяющего качественно сопоставить особые точки на различных изображениях.

Следует отметить, что для улучшения работы алгоритмов создания панорамных изображений часто используются дополнительные методы, позволяющие улучшить тот или иной метод. В качестве примера можно привести такие предварительные методы обработки изображений, как:

- удаление помех, вызванных оптикой;
- сжатие изображений, если использовалось сверхразрешение;
- исправление яркости используемых изображений (например, усреднение);
- фильтрацию при наличии шумов различного происхождения.

Также после построения панорамного изображения используется обработка результата с целью уменьшения видимости швов. Как правило, для этого используют фильтрацию и выравнивание яркости изображений.

На первом этапе создания панорамного изображения осуществляется выявление связующих точек изображения.

Связующими точками могут быть углы, резкие перепады яркости и т. д. Углы представляют собой точки, которые сформированы различным количеством граней и могут выступать как особенные (связующие). Грани, как правило, представляют собой линию, являющуюся гранью между объектами или являются границей между составляющими одного объекта. Именно поэтому углы являются наиболее полезными с точки зрения создания панорамного изображения. Следует отметить, что градиент изображения в окрестностях угла имеет два преобладающих направления. Градиент изображения представляет собой вектор, который указывает направление, в котором быстрее всего происходит увеличение интенсивности изображения $I(x,y)$. Так как при создании панорамного изображения работа осуществляется с цифровыми изображениями, следовательно, для определения градиента используются частные производные по двум координатам как изменение интенсивности соседних точек изображения. Следует отметить, что при вычислении градиента возникает необходимость вычисления производных первого и второго порядка. Таким образом, от метода вычисления оценки производных будет зависеть качество определения связующих (ключевых) точек. Представляется целесообразным использование метода оценки производных, являющегося устойчивым к шумам, так как при работе с реальными изображениями, полученными при помощи оптической аппаратуры, шумы измерения, влияющие на результат, могут быть существенными.

Основная часть

В данной работе для нахождения ключевых точек при создании панорамного изображения предлагается использовать вариационный метод оценки производных первого и второго порядка.

Математическое представление метода оценки производных первого и второго порядка.

Предлагаемый метод основан на использовании известной из математического анализа формулы, позволяющей выразить дифференцируемую функцию через производную (обозначения очевидны) [Жилияков, 2007.]:

$$u(t) = u(t_0) + \int_{t_0}^t f(x)dx, t > t_0$$

В качестве исходного вектора значений будет выступать вектор $\vec{u} = (u_0, u_1, \dots, u_N)^T$ эквидистантных отсчётов сигнала, где $u_i = u(i\Delta t), i = 1, \dots, N$, Δt – интервал дискретизации.

Пусть вектор $\vec{v} = (v_1, \dots, v_N)^T$ будет представлять собой разность, где

$$v_i = u_i - u_{i-1}, i = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Будем рассматривать интервалы частотной области:

$$\Omega = (-\Omega_2, -\Omega_1) \cup [\Omega_1, \Omega_2) \quad (2)$$

$$\bar{\Omega} = [-\bar{\Omega}_2, -\bar{\Omega}_1) \cup [\bar{\Omega}_1, \bar{\Omega}_2)$$

$$\bar{\Omega}_1 = \Delta t * \Omega_1 = q_1 * \pi; \bar{\Omega}_2 = \Delta t * \Omega_2 = q_2 * \pi. \tag{3}$$

Основой построения является представление искомой функций через ее первую производную

$$\hat{u}(t) = u_{i-1} + \int_{(i-1)\Delta t}^t f(\tau) d\tau \tag{4}$$

для $\Delta t(i-1) \leq t \leq i\Delta t$.

Преобразуем равенство (4) к виду:

$$v_i = u_i - u_{i-1} = \int_{(i-1)\Delta t}^{i\Delta t} f(\tau) d\tau \tag{5}$$

$f(\tau)$ – представляет собой первую производную аппроксимирующей функции.

Для получения оценки производной, которая бы была устойчива шумам различного происхождения, используется ее представление через трансформанту Фурье

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \tag{6}$$

где $F(\omega)$ – трансформанта Фурье

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau.$$

В качестве области определения трансформанты Фурье предлагается использовать частотный интервал, в котором сосредоточена основная доля энергии сигнала [Жилияков, 2010].

Соотношение, позволяющее определить интерполирующую функцию несложно записать, если подставить выражение (6) в правую часть выражения (4).

$$\hat{u}(t) = u_{i-1} + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) (\exp(j\omega t) - \exp(j\omega \Delta t(i-1))) d\omega / j\omega, \tag{7}$$

таким образом, что интерполирующие равенства можно представить в следующем виде

$$\frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} F(\omega) \frac{\sin\left(\frac{\omega \Delta t}{2}\right)}{\omega \Delta t / 2} \exp(j\omega \Delta t(i-0,5)) d\omega = v_i / \Delta t, \tag{8}$$

Эти аппроксимирующие функции будут принадлежать к целым функциям.

Для решения поставленной задачи используется вариационный принцип минимизации евклидовой нормы первой производной

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(\tau) d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega \in \Omega} |F(\omega)|^2 d\omega = \min,$$

При использовании этого принципа получим функции с наименьшей скоростью изменения получаемых значений.

Так же следует отметить, что данный принцип дает возможность увеличить устойчивость вычислений к действию шумов различного происхождения, например, шумов измерения.

Решение вариационной задачи, представленной выражениями (8), (7) может быть представлено в виде

$$F(\omega) \equiv \sum_{i=1}^N \beta_i \frac{\sin\left(\frac{\omega \Delta t}{2}\right)}{\omega \Delta t / 2} \exp(-j\omega \Delta t(i-0,5)), \tag{9}$$

когда $\omega \in \Omega$, и $F(\omega) \equiv 0$ в противном случае.

Результирующую формулу для вычисления оценки первой производной можно получить при подстановке последнего представления в соотношение (6)

$$f(\tau) = \sum_{k=1}^N \beta_k * \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(x/2)}{(x/2)} \cos(x(\frac{\tau}{\Delta t} - k + 0.5)) dx \quad (10)$$

Представленные в выражении (10) коэффициенты β должны удовлетворять системе уравнений (8), на основании чего получаем

$$A\vec{\beta} = \vec{v},$$

где $A = \{a_{ik}\}$ – квадратная матрица с элементами вида

$$a_{ik} = \frac{\Delta t}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin^2(x/2)}{(x/2)^2} \cos(x(i-k)) dx; i, k = 1, \dots, N \quad (11)$$

Пусть нам заранее известен набор значений

$$\tau_i = (i-0.5)\Delta t, i = 1, \dots, N, \quad (12)$$

в которых есть необходимость вычислять оценку производной, тогда выражение (10) преобразуется к виду

$$f_i = f(\tau_i) = \sum_{k=1}^N \beta_k \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(x/2)}{(x/2)} \cos(x(i-k)) dx \quad (13)$$

Или для вектора $\vec{f} = (f_1, \dots, f_N)^T, f_i = f(\tau_i),$

$$\vec{f} = B_1 A^{++} \vec{v}. \quad (14)$$

где $B_1 = \{b_{ik}^1\},$

$$b_{ik}^1 = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(x/2)}{(x/2)} \cos(x(i-k)) dx \quad (15).$$

Производные второго, третьего и более высоких порядков можно получить, если осуществить дифференцирование выражения (10)

$$\frac{df(\tau)}{d\tau} = \hat{u}^{(2)}(\tau) = -\sum \beta_k \frac{1}{\pi \Delta t} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(x/2)}{(x/2)} x \sin(x(\frac{\tau}{\Delta t} - k + 0.5)) dx \quad (16)$$

Если рассматривать те же точки, что и в выражении (13) можно получить

$$B_2 = \{b_{ik}^2\}: b_{ik}^2 = -\frac{1}{\pi \Delta t} \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{\sin(x/2)}{(x/2)} x \sin(x(i-k)) dx \quad (17)$$

Оценка второй производной вычисляется по выражению

$$\vec{f}^{(1)} = (f_1^{(1)}, \dots, f_N^{(1)})^T = B_2 A^{++} \vec{v} = B_2 \vec{\beta}. \quad (18)$$

Данный метод оценки производных имеет возможность использовать с любым детектором углов, например, таких как: алгоритм CSS, детектор CPDA и все их модификации. Предлагаемый метод оценки производных позволяет качественно осуществить поиск границ на изображении и, таким образом, качественно провести поиск ключевых точек на изображении. Также следует отметить, что предлагаемый метод поиска границ с использованием вариационного метода оценки производных является устойчивым к шумам, что позволяет осуществлять работу с зашумленными изображениями.

Рассмотрим использование «панорамных изображений» в цитогенетических исследованиях, которые играют большую роль в биологических работах, так как с их помощью выясняют генетические особенности, изменчивость, происхождение, эволюцию, систематику живых существ. Проблема заключается в том, что полученные изображения не все-

гда являются приемлемыми для анализа, и возникает необходимость создания «сшитого» изображения из нескольких имеющихся для анализа. Также следует отметить, что изображения, используемые в цитологических исследованиях, как правило, содержат шумовую составляющую. В работе использовался алгоритм SURF, в основе которого лежит использование матрицы Гессе

$$H(u) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 u}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 u}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 u}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 u}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}.$$

Определитель матрицы Гессе имеет максимум в тех точках, в которых наблюдается максимум градиента яркости. Алгоритм SURF с применением матрицы Гессе по всему изображению ищет максимальные значения ее определителя, выявляя при этом особые точки. При расчете матрицы Гессе использовался метод оценки производных, представленный выше. Следует отметить, что найденные таким образом особые точки являются инвариантными относительно поворота изображения, что является важным достоинством при осуществлении формирования панорамного изображения из серии снимков. Однако из недостатков можно отметить не инвариантность полученных особых точек к масштабированию. На следующем этапе для особых точек вычисляются дескрипторы, представляющие собой набор из 64 значений. Данные дескрипторы позволяют идентифицировать особую точку на всех изображениях серии. Далее по соответствующим особым точкам осуществляется «сшивка» изображения. Изображения расставляются в необходимом порядке и осуществляется коррекция исходя из полученных особых точек и их дескрипторов. В качестве меры близости использовалось евклидово расстояние.

Результаты и их обсуждение

Для исследования были использованы серии снимков. Особые точки на изображениях находились и анализировались по алгоритму SURF, при реализации которого Гессиан рассчитывался двумя способами: с использованием конечных разностей и по вариационному методу оценки производных. Результаты эксперимента приведены в таблице. В таблице знаком * обозначен алгоритм, в котором используется вариационный метод оценки производных для расчета матрицы Гессе.

Таблица
Table

Результат поиска ключевых точек на изображении
Search result of key points on the image

Метод	SURF				SURF*			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Изображение	1	2	3	4	1	2	3	4
Кол-во найденных ключевых точек	36	34	37	32	29	30	32	28
Кол-во сопоставленных ключевых точек	8	7	9	7	9	10	11	9

Таким образом, с помощью полученных изображений были изучены особенности кариотипов (структура, размер хромосом) двух видов мучнистых червецов (семейство Pseudococcidae): *Phenacoccus hordei* (Lindeman) и *Phenacoccus phenacocoides* (Kiritshenko) (рис. 1, рис. 2).

Материалом для исследований послужили сборы, сделанные в Белгородской области. Для анализа использовали яйца, находящиеся на ранних стадиях эмбриогенеза, взя-

тые из тела самки или из яйцевого мешка. В основном изучались митотические хромосомы кокцид, в отдельных случаях – в мейозе. Определение числа хромосом и других особенностей кариотипа проводилось на возможно большем числе хромосомных пластинок (от 5 до 20) и особей каждого вида (от 5 до 15).

Использовались методики рутинного и дифференциального окрашивания хромосом.

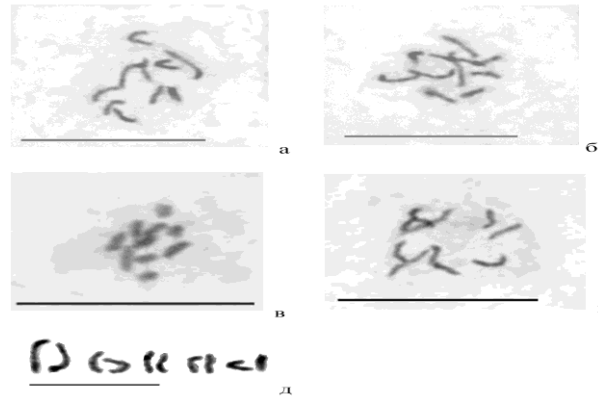


Рис. 1. *Phenacoccus hordei* (Lindeman): а-г – самка, $2n=10$, хромосомы на разных стадиях спирализации, д – кариограмма

Fig. 1. *Phenacoccus hordei* (Lindeman): а-d – female, $2n=10$, chromosomes at different stages of spiralization, d – karyogram

Ph. hordei (Lindeman)

Эмбрионы из тела самок. Окраска красителем Гимза.

Самка, $2n=10$ (рис. 10, а-г), самец, $2n=10$ (5ЭХ+5ГХ).

Анализ кариограммы показывает, что хромосомы образуют убывающий ряд.

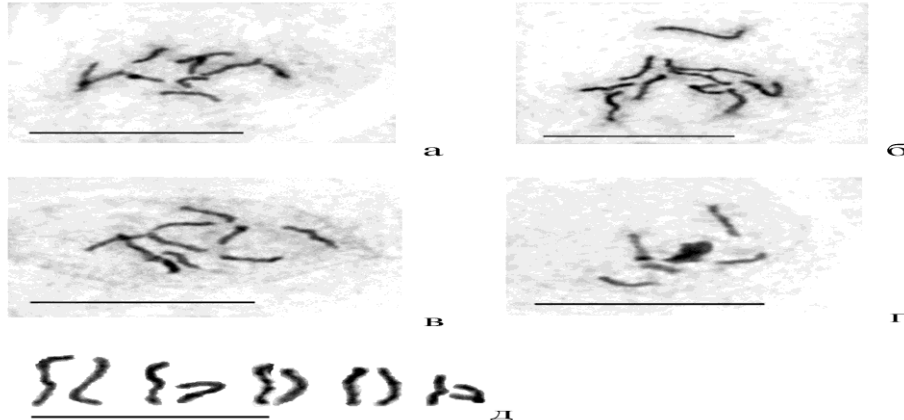


Рис. 2. *Phenacoccus phenacocoides* (Kiritshenko): а, б, в – самка, $2n=10$, хромосомы на разных стадиях спирализации; г – самец, $2n=10$ (5ЭХ+5ГХ), д – кариограмма.

Fig. 2. *Phenacoccus phenacocoides* (Kiritshenko): а, b, c – female, $2n = 10$, chromosomes at different stages of spiralization; g – male, $2n=10$ (5ЭХ+5ГХ), e – karyogram

Ph. phenacocoides (Kiritshenko)

Эмбрионы из тела самок. Окраска методом Шифф – Гимза.

Самка, $2n=10$ (рис. 2, а-в), самец, $2n=10$ (5ЭХ+5ГХ) (рис. 2, г).

Анализ кариограммы показывает, что хромосомы образуют плавно убывающий размерный ряд (рис. 2, д).

Выводы

Следует заметить, что при поиске ключевых точек с использованием вариационного метода производных количество точек меньше по отношению к классическому методу

SURF, однако количество сопоставленных точек больше, а это является основным показателем работы алгоритма.

Таким образом, использование «склеенных» изображений дало возможность проведения цитогенетических исследований, а применение вариационного метода оценки производных при поиске ключевых точек позволило провести качественный анализ, поскольку предлагаемый метод является устойчивым к шумам, которые присутствуют на изначальных изображениях.

Список литературы References

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. 2008. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М., Радиотехника, 176.

Alpatov B.A., Babayan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I. 2008. Methods of automatic detection and tracking of objects. Image processing and management. Moscow: Radio engineering, 176.

2. Балабанова Т.Н., Чижов И.И., Голощапова В.А., Стецюк Т.С. 2012. Градиентная обработка изображений на основе вариационного метода оценки производных. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 7(126): 166–173.

Balabanova T.N., Chizhov I.I., Goloshapova V.A., Stetsyuk T.S. 2012. Gradient processing of images on the basis of the variational method of estimating derivatives. BSU Scientific Bulletin. Ser. History. Political science. Economy. Computer science. 7(126): 166–173.

3. Борхсениус Н.С. 1937. Определитель кокцид (Coccoidea), вредных культурным растениям и лесу в СССР. Л., 148.

Borchsenius N.S. The determinant of coccids (Coccoidea), harmful to cultivated plants and forests in the USSR. L., 1937, p.148.

4. Борхсениус Н.С. 1950. Сбор и изучение червецов и щитовок. Изд-во АН ССР М.-Л.: 31.

Borchsenius N.S. Collection and study of caulkers and scabbarads. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, M.-L. 1950, 31.

5. Гаврилов И.А. 2005. Систематика и цитогенетика кокцид (Homoptera: Coccinea) европейской части России. Диссертация на соискание ученой степени канд. биол. наук. Зоологический инст. РАН, Санкт-Петербург, 269.

Gavrilov I.A. 2005. Systematics and cytogenetics of coccids (Homoptera: Coccinea) in the European part of Russia. Thesis for Cand. of Sc. degree in Biol. sciences. Zoological Inst. RAS, St. Petersburg. 269.

6. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. 2006. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. М.: Техносфера, 616.

Gonzalez, R., Woods, R., Eddins, S. 2006. Digital image processing in Matlab environment. Moscow: Technosphere, 616.

7. Жилияков Е.Г. 2007. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений: Монография. Белгород: Изд-во БелГУ, 159.

Zhilyakov E.G. 2007. Variational methods of functions analyzing and constructing by empirical data based on their representations in frequency domain: Monograph. Belgorod: BelSU Publishing House, 159.

8. Жилияков, Е.Г., Белов С.П., Прохоренко Е.И., Черноморец А.А., Поболкова Н.С. 2010. Моделирование речевых сигналов на основе частотных представлений: Монография, Белгород: Изд-во ГИК, 158.

Zhilyakov E.G., Belov S.P., Prohorenko E.I., Chernomoretz A.A., Pobolkova N.S. 2010. Simulation of speech signals based on their representations in frequency domain: Monograph, Belgorod: Publishing House GIK, 158.

9. Жилияков Е.Г., Созонова Т.Н., Мисливец И.Ю. 2006. Вариационный метод оценивания производных и интерполяции сигналов по эмпирическим данным. Вестник ВГУ, сер. Системный анализ и информационные технологии, 2: 70–73.

Zhilyakov E.G. Variational method for estimating the derivatives and interpolation of signals by empirical data. Sozonova, I.Yu. Myslyvets. Vestnik VSU, Ser. System analysis and information technologies, 2006, 2: 70-73.

10. Назарова М.Н., Гаврилов И.А., Багрянская Н.А. 2002. Практическое пособие к большому практикуму по цитологической и эмбриологической микротехнике. Воронеж: ВГУ, 24.
Nazarova M.N., Gavrilov I.A., Bagryanskaya N.A. 2002. A practical guide to a large workshop on cytological and embryological microtechnology. Voronezh: VSU, 24.
11. Патентный поиск. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/240/2406144.html> (дата обращения: 11.07.2018).
Patent search. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/240/2406144.html> (date of circulation: 11/07/2018).
12. Созонова Т.Н., Титова Н.С., Щербинина Т.Н. 2008. Применение вариационных алгоритмов интерполяции и оценки первой производной для некоторых аспектов обработки изображений. Научные ведомости БелГУ, сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 10(50): 4–12.
Sozonova T.N., Titova N.S., Shcherbinina N.V. 2008. Application of variational interpolation algorithms and estimation of the first derivative for some aspects of image processing. BSU Scientific Bulletin. Ser. History. Political science. Economy. Computer science. 10(50): 4–12.
13. Трапезникова И.В. 2007. Кариотипы и особенности размножения некоторых видов мучнистых червецов (Homoptera, Pseudococcidae). Проблемы и перспективы общей энтомологии. Тезисы докладов XII съезда Русского энтомологического общества, Краснодар, 9–15 сентября 2007 г. Краснодар, 362.
Trapeznikova I.V. 2007. Karyotypes and peculiarities of reproduction of some species of mealybugs (Homoptera, Pseudococcidae). Problems and prospects of general entomology. Abstracts of the XII Congress of the Russian Entomological Society, Krasnodar, September 9–15, 2007. Krasnodar. 362.
14. Bay H., Ess A., Tuytelaars A. 2008. Speeded Up Robust Features. ETH Zurich, BIWI Sternwartstrasse 7CH-8092 Zurich Switzerland, ESAT-PSI Kasteelpark Arenberg 10 B3001 Leuven Belgium.
15. Conger A.D., Fairechild L.M. 1953. A quick-freeze method for making smear slides permanent. Stain Techn, 28, 289–293.
16. Gavrilov I.A., Trapeznikova I.V. 2007. Karyotypes of some mealybugs (Homoptera: Coccinea: Pseudococcidae). XI International symposium on scale insect studies, 24–27 September 2007, Oeiras, Portugal, 56.
17. Gavrilov I.A., Trapeznikova I.V. 2007. Karyotypes and reproductive of some mealybugs (Homoptera: Coccinea: Pseudococcidae). Comp. Cytogenet, 1(2): 139–148.
18. Gavrilov I.A., Trapeznikova I.V. 2010. Karyotypes of six previously unstudied European mealybugs (Homoptera: Pseudococcidae). Comp. Cytogenet, 4(2): 203–205.
19. Ke Y., Sukthankar R. 2004. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors. In: CVPR (2): 506–513.
20. Mikolajczyk K., Schmid C. A. 2005 Performance evaluation of local descriptors. PAMI, 27: 1615–1630.
21. Mikolajczyk K., Tuytelaars T., Schmid C., Zisserman A., Matas J., Schaffalitzky, F., Kadir T., Van Gool L. 2005. A comparison of affine region detectors. IJCV, 65: 43–72.