

Сегментация сканированного рукописного текста на словные фрагменты

1) **Заливин А.Н.**, 2) **Балабанова Т.Н.**, 2) **Прохоренко Е.И.**, 2) **Васильева Н.В.**

¹⁾ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: zalivin@bsu.edu.ru, sazonova@bsu.edu.ru, prokhorenko@bsu.edu.ru, vasileva@bsu.edu.ru

Аннотация. В настоящее время одной из основных тенденций документооборота является его реализация в электронном виде, что позволяет широко использовать компьютерные технологии. Достаточно часто хранящиеся документы представляют собой изображения сканированных текстов, которые либо полностью являются рукописными, либо частично (например, подписи под текстами). При этом часто наибольший интерес представляет именно рукописная часть. В качестве примера можно привести анализ частоты употребления некоторых слов автором рукописи, задачу обнаружения фальсификации подписей и т. п. Важно отметить, что в большинстве случаев речь идет об идентификации словных фрагментов на основе отнесения их к классу, определяемому некоторым образцом (прецедентом). В данной работе рассматривается один из этапов решения такой задачи, в рамках которого определяются фрагменты изображений, не содержащие рукописных символов. В этом случае прецедентом служит фрагмент строки, заведомо не содержащий рукописных символов. Показано, что анализ рукописей в этом случае целесообразно проводить в рамках субполосных представлений. Получены основные соотношения для решающей функции и предложена процедура обучения, позволяющая построить критическую область на основе заданной вероятности ошибок первого рода.

Ключевые слова: изображения сканированных рукописей, сегментация на словные фрагменты.

Благодарности: исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00241 а.

Для цитирования: Заливин А.Н., Балабанова Т.Н., Прохоренко Е.И., Васильева Н.В. 2021. Сегментация сканированного рукописного текста на словные фрагменты. Экономика. Информатика, 48 (2): 383–391. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-383-391.

Segmentation of scanned handwritten text into word fragments

1) **Alexander N. Zalivin**, 2) **Tatiana N. Balabanova**, 2) **Ekaterina I. Prokhorenko**,
2) **Nadezhda V. Vasil'eva**

¹⁾ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia

²⁾ Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: zalivin@bsu.edu.ru, sazonova@bsu.edu.ru, prokhorenko@bsu.edu.ru, vasileva@bsu.edu.ru

Abstract. Currently, one of the main trends in document flow is its implementation in electronic form, which allows the widespread use of computer technology. Quite often, stored documents are images of scanned texts that are either completely handwritten or partially (for example, signatures under the texts). In this case, it is the handwritten part that is often of the greatest interest. An example is the analysis of the frequency of the use of certain words by the author of the manuscript, the task of detecting falsification of signatures, etc. It is important to note that in most cases we are talking about the identification of word fragments based on their assignment to a class defined by some pattern (precedent). In this paper, one of the stages of solving such a problem is considered, within the framework of which fragments of images that do not contain handwritten characters are determined. In this case, a fragment of a string that obviously does not contain handwritten characters serves as a precedent. It is shown that the analysis of manuscripts in this case is advisable to carry out within the framework of subband representations. The basic

relations for the decision function are obtained and a training procedure is proposed that makes it possible to construct a critical region based on a given probability of errors of the first kind.

Keywords: images of scanned manuscripts, segmentation into word fragments.

Acknowledgements: the work was supported by RFBR grant 20-07-00241 a.

For citation: Zalivin A.N., Balabanova T.N., Prokhorenko E.I., Vasil'eva N.V. 2021. Segmentation of scanned handwritten text into word fragments. Economics. Information technologies, 48 (2): 383–391. (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-383-391.

Введение

С позиций информационного обмена одной из наиболее естественных форм представления информации являются визуальные отображения действительности. В настоящее время такие отображения создаются с помощью программно-аппаратных средств. Они получили наименования цифровых изображений, что позволяет для их анализа использовать компьютерные системы [Гонсалес, Вудс 2006, Грузман, Киричук и др., 2002].

В частности, в электронных хранилищах накоплены достаточно большие объемы изображений сканированных рукописных текстов или их фрагментов. Они достаточно часто подвергаются исследованиям с целью выявления некоторых особенностей источников их создания, например, частоты использования тех или иных слов, употребления конкретных ключевых слов, например, с позиций обнаружения опасных тенденций, обнаружения фальсификаций подписей и т. д. [Горский, Анисимов, Горская, 1997, Жилияков, Ефимов, 2018, Мозговой, 2013, Демин, 2012, Афанасенко, Елизаров, 2008]. Наличие программного обеспечения специализированных информационных технологий позволяет автоматизировать анализ рукописей на основе применения компьютерной техники. В рамках данной работы речь идет об отнесении фрагментов рукописного текста в виде отдельных слов (словных фрагментов) к классу идентичных некоторому фрагменту-прецеденту, который определяется в начале процедуры поиска. При этом предполагается, что прецедент представляет собой рукописный фрагмент, созданный тем же автором, что и остальной текст. Поэтому рассматриваемую процедуру можно именовать поиском нечетких фрагментов, имея в виду изменчивость начертания букв даже у одного автора.

Уточним формулировку задачи. Исходя из некоторых соображений поиска, определяется фрагмент рукописи, содержащий изображение заданной словоформы. Необходимо на основе перемещения по сканированному изображению остального текста найти словные фрагменты, которые содержат идентичные словоформы (прецедентная идентификация).

Так как анализ семантики не предполагается, то с позиций методологии принятия решений основной (начальной) гипотезой служит следующее.

H_0 : сравниваемый анализируемый словный фрагмент идентичен фрагменту-прецеденту.

Задача заключается в разработке решающей процедуры, позволяющей на основе обработки изображений опровергнуть эту гипотезу на заданном уровне вероятности ошибок первого рода α

$$Ver(g(F, U) \in G / H_0) < \alpha, \quad (1)$$

где $U = \{u_{ik}\}$, $F = \{f_{ik}\}$, $i = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, M$ – анализируемый фрагмент изображения и прецедент соответственно; $g(U, F)$ – решающая функция, вид которой определяется мерой близости сравниваемых фрагментов; G – критическая область (область отвержения гипотезы); символ Ver означает вероятность, в данном случае условную.

Из общих требований к свойствам решающей функции следует отметить необходимость её достаточно стабильного поведения при сравнении идентичных объектов, и наоборот высокую чувствительность, которая проявляется в резких отличиях её значений от стабильных при значимых различиях в сравниваемых фрагментах изображений. Для достижения такого эффекта необходимо использовать признаки сравниваемых фрагментов, адекватно отражающие их структурные свойства.

Ясно, что одним из основных этапов такой решающей процедуры является сегментация [Борисов, 2008; Сорокин, Запрягаев, 2010] сканированного рукописного текста на словные фрагменты, которые слитно заполнены графическими символами, кодирующими звуки устной речи, либо являющимися знаками некоторого специализированного словаря. Именно этот аспект обработки фрагментов изображений сканированного рукописного текста при прецедентной идентификации его словных фрагментов рассматривается в данной работе.

Основная часть

Субполосные признаки межсловных и межстрочных интервалов

Межсловные и межстрочные интервалы в изображениях сканированного рукописного текста всегда присутствуют. Очевидно, что основным их признаком является отсутствие рукописных символов. Ясно также, что перед поиском идентичных прецеденту рукописных фрагментов целесообразно определить незаполненные символами строки анализируемого изображения, включая эффекты непараллельности рукописных строк.

В основе такой процедуры обработки данных предлагается использовать субполосный анализ Фурье в области нормированных круговых пространственных частот z , имея в виду определение трансформанты Фурье дискретных последовательностей вида [Рабинер, Голд, 1978, Жилияков, Черноморец, 2009, Черноморец, Голощапова и др., 2011]

$$X(z) = \sum_{k=1}^K x_k \exp(-jz(k-1)), \quad (2)$$

где $x_k, k=1, \dots, K$ – набор значений пикселей вдоль некоторой строки изображения, целесообразное количество которых будет обосновано позже.

Ввиду периодичности экспоненты, правая часть (2) также имеет период 2π . Кроме того, при разных k на этом периоде экспоненты ортогональны, поэтому, справедливо соотношение, которое принято называть равенством Парсевала

$$\int_{-\pi}^{\pi} |X(z)|^2 dz / 2\pi = \|\bar{x}\|^2 = \sum_{k=1}^K x_k^2. \quad (3)$$

Для рассматриваемой задачи важной является возможность представления этого равенства в виде суммы интегралов

$$\|\bar{x}\|^2 = \sum_{r=0}^R P_r(\bar{x}), \quad (4)$$

где

$$P_r(\bar{x}) = \int_{z \in Z_r} |X(z)|^2 dz / 2\pi. \quad (5)$$

Здесь имеется в виду разбиение области интегрирования в (3) на субполосы вида

$$Z_r = [-Z_{2r}, -Z_{1r}) \cup [Z_{1r}, Z_{2r}), r = 0, \dots, R, \quad (6)$$

причем

$$Z_{10} = 0; Z_{2,r} = Z_{1,r+1}, r = 0, 1, \dots, R-1; Z_{2R} = \pi. \quad (7)$$

В работе предлагается использовать следующее разбиение:

$$Z_{20} = \pi / (2R + 1); \Delta Z_r = Z_{2r} - Z_{1r} = 2Z_{20}. \quad (8)$$



Подстановка в (5) определения (3) позволяет получить следующее представление для части энергии вектора, связанной с соответствующим частотным интервалом (субполосой)

$$P_r(\vec{x}) = \vec{x}' A_r \vec{x}, \quad (9)$$

где штрих означает транспонирование; $A_r = \{a_{ik}^r\}, i, k = 1, \dots, K$ – субполосная матрица [Жиляков, Черноморец, 2009, Черноморец, Голощапова и др., 2011] с элементами

$$a_{ik}^r = \int_{z \in Z_r} \exp(-jz(i-k)) dz / 2\pi. \quad (10)$$

В результате интегрирования получаем

$$a_{ik}^r = 2a_{ik}^0 \cos(z_r(i-k)), r = 1, \dots, R; \quad (11)$$

$$a_{ii}^0 = \sin(Z_{20}(i-k)) / (\pi(i-k)), a_{ii}^0 = Z_{20} / \pi; \quad (12)$$

$$z_r = (Z_{2r} + Z_{1r}) / 2.$$

Субполосные матрицы, очевидно, являются симметричными. Кроме того, из определения (9) следует их положительная определенность. Поэтому они представимы в следующем виде [Гантмахер, 1971, Парлетт, 1983, Zhilyakov, 2015]

$$A_r = Q_r L_r Q_r', \quad (13)$$

где $L = \text{diag}(\lambda_1^r, \dots, \lambda_N^r)$ – диагональная матрица собственных чисел, упорядоченных по убыванию

$$\lambda_1^r \geq \lambda_2^r \geq \dots \geq \lambda_N^r \geq 0; \quad (14)$$

а $Q_r = (\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_N^r)$ – ортогональная матрица соответствующих собственных векторов

$$A_r Q_r = Q_r L_r; \quad (15)$$

$$Q_r' Q_r = Q_r Q_r' = I = \text{diag}(1, \dots, 1). \quad (16)$$

Отметим также, что из равенства единице евклидовой нормы собственных векторов следует справедливость неравенства для собственных чисел [Zhilyakov, 2015]

$$\lambda_1^r \leq 1. \quad (17)$$

Легко понять, что соотношения (10) порождают матричную форму следующего вида

$$A_r = C_{s_r} A_0 C_{s_r} + S_{s_r} A_0 S_{s_r}, \quad (18)$$

где

$$C_{s_r} = \text{diag}(1, \cos(z_r), \cos(2z_r), \dots, \cos((K-1)z_r)); \quad (20)$$

$$S_{s_r} = \text{diag}(0, \sin(z_r), \sin(2z_r), \dots, \sin((K-1)z_r)). \quad (21)$$

Подставив в (18) представление (13) для A_0 , получаем

$$A_r = 2(C_{s_r} Q_0 L_0 Q_0' C_{s_r} + S_{s_r} Q_0 L_0 Q_0' S_{s_r}). \quad (22)$$

Важным свойством субполосных матриц является то, что только часть их собственных чисел значимо больше нуля. В частности, для нулевой субполосы с высокой точностью выполняются равенства

$$\lambda_{k+J_0}^0 = 0, k = 1, \dots, k - J_0, \quad (23)$$

когда

$$J_0 = [Z_{20} K / 2\pi] + 2. \quad (24)$$

Здесь квадратные скобки означают целую часть содержащегося в них числа.

Непосредственно из представления (10) и определения (15) можно получить соотношение

$$\lambda_i^0 = \int_{z \in Z_0} |G_i^0(z)|^2 dz / 2\pi, i = 1, \dots, K, \quad (25)$$

где $G_i^0(z)$ – трансформанта Фурье соответствующего собственного вектора «нулевой» субполосной матрицы.

Таким образом, собственные числа этой субполосной матрицы численно равны долям квадратов евклидовых норм собственных векторов, попадающих в соответствующую субполосу. Поэтому, основываясь на соотношении (22), нетрудно показать справедливость представлений для собственных чисел и векторов остальных субполосных матриц

$$\lambda_{2k-1}^r = \lambda_{2k}^r = \lambda_k^0, k = 1, \dots, J_0, \quad (26)$$

$$\vec{q}_{2k-1}^r = d_{2k-1}^r C s_r \vec{q}_k^0; \vec{q}_{2k}^r = c_{2k}^r S s_r \vec{q}_k^0, k = 1, \dots, J_0. \quad (27)$$

где

$$d_{2k-1}^r = \left(\sum_{i=1}^K (\cos((i-1)z_r) q_{ik}^0)^2 \right)^{-1/2};$$

$$c_{2k}^r = \left(\sum_{i=1}^K (\sin((i-1)z_r) q_{ik}^0)^2 \right)^{-1/2}.$$

Соотношения (26), (27) нетрудно получить из (23) и (25) при умножении (22) на правые части (27) и учете тригонометрических тождеств

$$\cos^2(z_r(m-1)) = (1 + \cos(2z_r(m-1))) / 2;$$

$$\sin^2(z_r(m-1)) = (1 - \cos(2z_r(m-1))) / 2;$$

$$2 \sin(z_r(m-1)) \cos(z_r(m-1)) = \sin(2z_r(m-1)),$$

а также эффекта «переноса» спектров

$$\sum_{m=1}^K q_{mk}^0 \cos(2z_r(m-1)) \exp(-jz(m-1)) = (G_k(z - 2z_r) + G_k(z + 2z_r)) / 2;$$

$$\sum_{m=1}^K q_{mk}^0 \sin(2z_r(m-1)) \exp(-jz(m-1)) = (G_k(z - 2z_r) + G_k(z + 2z_r)) / 2j.$$

Свойство (23) собственных чисел «нулевой» субполосной матрицы позволяет преобразовать представление (9) к следующему удобному для вычислений виду

$$P_r(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{J_0} \lambda_i^0 ((\alpha_i^r)^2 + (\beta_i^r)^2), \quad (28)$$

где

$$\alpha_i^r = \sum_{k=1}^K x_k q_{ki}^0 \cos(z_r(k-1)), \quad (29)$$

$$\beta_i^r = \sum_{k=1}^K x_k q_{ki}^0 \sin(z_r(k-1)). \quad (30)$$

Очевидно, что для межстрочных интервалов характерным является почти постоянство значений пикселей. Если положить

$$x_k = c, k = 1, \dots, K, \quad (31)$$

то в соответствии с определением (2) можно получить соотношение для спектра

$$X(z) = \exp(-j(K-1)z/2) \sin(Kz/2) / \sin(z/2). \quad (32)$$

Легко понять, что здесь первый ноль правой части достигается в точке

$$z_0 = 2\pi / K, \quad (33)$$

причем, как показывают вычисления, когда

$$Z_{02} = z_0, \quad (34)$$

выполняется условие

$$P_0(\vec{x}) / \|\vec{x}\|^2 > 0.90, \quad (35)$$

то есть подавляющая доля энергии вектора с постоянными компонентами сосредоточена в нулевой субполосе с границей (34).



Представляется целесообразным границу нулевого интервала (8) выбрать равной правой части (33), что дает следующее соотношение между количеством субполос и размерностью обрабатываемых векторов

$$K = 2(2R + 1). \quad (36)$$

При таком выборе минимальная размерность обрабатываемых векторов равна 6. Ниже в таблице 1 приведены первые 6 значений собственных чисел для «нулевой» матрицы. Легко видеть, что данные таблицы не противоречат соотношению (24).

Таблица 1
Table 1

Значения первых шести значений собственных чисел
The values of the first six values of the eigenvalues

$R(K)$	λ_1^0	λ_2^0	λ_3^0	λ_4^0	λ_5^0	λ_6^0
1 (6)	0,9846	0,7606	0,2355	0,0189	0,0004	0,0000
3 (14)	0,9817	0,7515	0,2422	0,0236	0,0008	0,0000
10 (42)	0,9811	0,7500	0,2430	0,0245	0,0009	0,0000

Положим

$$\vec{\alpha}_0 = (\alpha_{10}, \dots, \alpha_{K0})' = Q_0' \vec{x}. \quad (37)$$

Тогда с учетом (24) из соотношения (9) можно получить представление

$$P_{0r}(\vec{x}) = \vec{x}' A_0 \vec{x} \approx \sum_{i=1}^{J_0} \lambda_i^0 \alpha_{i0}^2. \quad (38)$$

Положим

$$\vec{y} = \sum_{i=1}^{J_0} \alpha_{i0} \vec{q}_i^0. \quad (38)$$

Нетрудно показать справедливость равенства

$$P_0(\vec{x} - \vec{y}) = \sum_{i=J_0+1}^K \lambda_i^0 \alpha_{i0}^2 \approx 0, \quad (39)$$

откуда в соответствии с определением (5) следует равенство для отрезков спектров

$$Y(z) \cong X(z), z \in Z_0. \quad (40)$$

Таким образом, отрезки спектров исходного вектора и вектора (38) в «нулевой» субполосе совпадают.

Следует, однако, иметь в виду, что более реалистичным, чем равенство (31), является модель компонент обрабатываемых векторов

$$x_k = c + u_k, k = 1, \dots, K, \quad (41)$$

где u_k – некоторая случайная компонента, которую будем полагать гауссовой с функцией плотности вероятностей (ФПВ)

$$w(u) = \exp(-u^2 / 2\sigma^2) / \sigma(2\pi)^{1/2}. \quad (42)$$

Для положительности и почти постоянства значений пикселей в промежутках между словами среднеквадратическое значение должно быть существенно меньше константы

$$\sigma \ll c.$$

В качестве характеристики вектора смеси постоянной величины и случайной гауссовской компоненты с независимыми значениями естественно использовать отношение сигнал/шум в виде

$$d = (E(\|\bar{u}\|^2) / Kc^2)^{1/2} = \sigma / c, \quad (43)$$

где символ E – символ математического ожидания.

Очевидно также, что в этих условиях будет выполняться равенство

$$E(|U(z)|^2) = E(|\sum_{k=1}^K u_k \exp(-jz(k-1))|^2) \equiv s^2 = const. \quad (44).$$

В свою очередь для характеристик вида (9) в этих условиях с учетом одинаковости диагональных элементов субполосных матриц (10) получаем

$$E(P_r(\bar{u})) = \sigma^2 K a_{ii}^r. \quad (45)$$

В частности, с учетом (12) и (33) получаем

$$E(P_0(\bar{u})) = 2\sigma^2. \quad (46)$$

Аналогично с учетом неравенства (35) можно показать, что для вектора с компонентами (41) справедливо следующее соотношение

$$E(P_0(\bar{x})) > 0,9c^2 K + 2\sigma^2. \quad (47)$$

Ясно, что второе слагаемое здесь обусловлено наличием случайной компоненты, причем параметр отношение сигнал/шум становится равным

$$d_0 = (2/0,9K)^{1/2} \sigma / c. \quad (48)$$

Отметим, что правая часть у (48) может быть существенно меньше, чем у (43).

Пусть теперь с вектором (41) на предмет близости сопоставляется вектор

$$y_k = c + v_k, k = 1, \dots, K, \quad (49)$$

который образуется на основе значений пикселей другого фрагмента строки. Здесь имеется в виду случайная компонента вида (42).

В виду свойства (48) целесообразно использовать субполосную меру близости

$$W(x, y) = P_0(\bar{x} - \bar{y}), \quad (50)$$

для которой в виду (41) и (49) будет иметь место

$$E(W(x, y)) = E(P_0(\bar{u} - \bar{v})) = 4\sigma^2. \quad (51)$$

Воспользовавшись представлением вида (38), можно получить соотношение для дисперсии меры (50)

$$E(W(x, y) - E(W(x, y)))^2 = 4\sigma^4 \sum_{i=1}^K (\lambda_k^0)^2. \quad (52)$$

С учетом данных таблицы 1 получаем оценку среднеквадратического отклонения, как квадратный корень из правой части (52)

$$S(W) = 2,5\sigma^2. \quad (53)$$

Проверка начальной гипотезы H_0

В качестве прецедента необходимо использовать фрагмент заведомо пустой от символов строки. Количество пикселей фрагмента при этом целесообразно взять не менее 6, но не более средней ширины пробелов между словами. Используя заведомо пустые строки, необходимо оценить верхнюю грань получающихся значений меры (50)

$$h = \max P_0(\bar{x}_k - \bar{y}_k), k = 1, \dots, M, \quad (54)$$

где M – количество используемых фрагментов.

Тогда вероятность ошибок первого рода при проверке гипотезы об идентичности сравниваемых фрагментов буде приблизительно равна

$$p \approx 1/M. \quad (55)$$

Отсюда следует правило выбора для обучения выборочных значений, чтобы удовлетворить требованиям обеспечения необходимого уровня вероятности ошибок первого рода при реализации решающего правила: если выполняется неравенство

$$W(x, y) > h, \quad (56)$$

где вектор \vec{x} – прецедент, заведомо не содержащий символов, то сопоставляемый фрагмент \vec{y} не относится к такому множеству.

Выводы

Рассмотрен важный аспект анализа изображений сканированного рукописного текста, который связан с выделением фрагментов, не содержащих символов. Показана целесообразность использования субполосного анализа на основе понятия части энергии, попадающей в частотный интервал вблизи начала координат частотной области. Предложена модель, определяющая значения пикселей строк без рукописных символов и получены соотношения для решающей функции, позволяющей их идентифицировать. Предложена процедура обучения, с помощью которой можно определить критическую область решающей функции при проверке гипотезы об идентичности сравниваемых векторов, состоящих из компонент в виде «пустых» пикселей.

Список литературы

1. Афонасенко А.В., Елизаров А.И. 2008 Обзор методов распознавания структурированных символов. В докл. ТУСУРа № 2 (18), часть 1.
2. Борисов Е. 2008 Сегментация изображения текста. [Электронный ресурс]. URL: <http://mechanoid.kiev.ua/cv-text-image-segmentator.html> (Дата обращения: 01.04.2019).
3. Гантмахер Ф.Р. 1971 Теория матриц. М., Наука, 576.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. 2006. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 1072.
5. Горский Н., Анисимов В., Горская Л. 1997. Распознавание рукописного текста: от теории к практике. СПб., Политехника, 126.
6. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. 2002. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: НГТУ, 352.
7. Демин А.А. 2012. Обзор интеллектуальных систем для оценки каллиграфии. Инженерный вестник, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 77-48211/478895, 09: 1–25.
8. Жилияков Е.Г., Ефимов Н.О. 2018. Распознавание фрагментов рукописного текста. Характерные частотные интервалы. Информационные технологии. 7: 481–486.
9. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А. 2009. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений. Монография. Белгород: Изд-во ГИК, 146.
10. Мозговой А.А. 2013 Проблемы извлечения рукописных слов из сканированного изображения. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Воронеж 1: 14–23.
11. Парлетт Б. 1983. Симметричная проблема собственных значений. М., Мир, 382.
12. Рабинер Л., Голд Б. 1978. Теория и методы цифровой обработки сигналов. М., Мир, 424.
13. Сорокин А. И., Запрягаев С.А. 2010. Сегментация рукописных и машинописных текстов методом диаграмм Вороного. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. Воронеж 1: 160–165.
14. Черноморец А.А. Голошапова В.А., Лысенко И.В., Болгова Е.В. 2011. О частотной концентрации энергии изображений. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. Белгород 1: 103–108.
15. Zhilyakov E. G. 2015. Optimal sub-band methods for analysis and synthesis of finite-duration signals. Autom. Remote Control, 76:4.

References

1. Afonassenko A.V., Elizarov A.I. 2008 Review of methods for recognizing structured characters. In the report. TUSUR No 2 (18), part 1.
2. Borisov E. 2008 Segmentation of the text image. [Electronic resource]. URL: <http://mechanoid.kiev.ua/cv-text-image-segmentator.html> (Date of access: 01.04.2019).
3. Gantmakher F.R. 1971 Matrix theory. M., Nauka, 576.
4. Gonzalez R., Woods R. 2006. Digital Image Processing. M., Technosphere, 1072.

5. Gorsky N., Anisimov V., Gorskaya L. 1997. Handwriting recognition: from theory to practice. SPb., Polytechnic, 126.
6. Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosykh V.P., Peretyagin G.I., Spektor A.A. 2002. Digital image processing in information systems. Novosibirsk: NSTU, 352.
7. Demin A.A. 2012. Review of intelligent systems for the assessment of calligraphy. Engineering Bulletin, Moscow State Technical University N.E. Bauman, 77-48211 / 478895, 09: 1–25.
8. Zhilyakov E.G., Efimov N.O. 2018. Recognition of fragments of handwritten text. Typical frequency intervals. Information Technology. 7: 481–486.
9. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. 2009. Variational algorithms for image analysis and processing based on frequency representations. Monograph. Belgorod: GIK Publishing House, 146.
10. Mozgovoy A.A. 2013. Problems with extracting handwritten words from scanned image. Modeling, optimization and information technology. Voronezh 1: 14–23.
11. Parlett B. 1983. Symmetric eigenvalue problem. M., Mir, 382.
12. Rabiner L., Gold B. 1978. Theory and methods of digital signal processing. M., Mir, 424.
13. Sorokin A.I., Zapryagaev S.A. 2010. Segmentation of handwritten and typewritten texts using the Voronoi diagram method. Voronezh State University Bulletin. Series: systems analysis and information technology. Voronezh 1: 160–165.
14. Chernomorets, A.A. Goloshchapova V.A., Lysenko I.V., Bolgova E.V. 2011. On the frequency concentration of the energy of images. Scientific bulletin of BelSU. Ser. History. Political science. Economy. Computer science. Belgorod 1: 103–108.
15. Zhilyakov E.G. 2015. Optimal sub-band methods for analysis and synthesis of finite-duration signals. Autom. Remote Control, 76: 4.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Заливин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры организации и технологии защиты информации Белгородского университета кооперации, экономики и права, Белгород, Россия

Балабанова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Прохоренко Екатерина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Васильева Надежда Владимировна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander N. Zalivin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Security Organization and Technology, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Tatiana N. Balabanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Ekaterina I. Prokhorenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Nadezhda V. Vasil'eva, Postgraduate Student of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia