

References

1. Finkel'shtejn M.I. *Radar Basics*. Moscow: Radio i svjaz', 1983, 536 p. (In Russ.)
2. Varakin L.E. *Communication Systems with Noise-Like Signals*. Moscow: Radio i svjaz', 1985, 384 p. (In Russ.)
3. Arkhangel'skiy V.B. et al. Optimal algorithm for generating and processing noise-like signals in optical reflectometry. *Obrabotka signalov v sistemah svyazi: sb. nauch. tr. uchebn. zaved. svyazi*, 1996, pp. 36–39. (In Russ.)
4. Listvin A.V., Listvin V.N. *Optical Fiber Reflectometry*. Moscow: LESARart, 2005, 208 p. (In Russ.)
5. Bylina M.S. et al. *Measurement of Parameters of Fiber-Optic Line Paths*. A Tutorial. Saint Petersburg: SPbGUT, 2002, 80 p. (In Russ.)
6. Andreev V.A. et al. *Backscattering Fiber Optic Measurements*. A Tutorial. Samara: SRTTTs PGATI, 2001, 121 p. (In Russ.)
7. Solonina A.I. *Fundamentals of Digital Signal Processing*. Saint Petersburg: BHV-Peterburg, 2005, 768 p. (In Russ.)
8. Ivanov A.B. *Fiber Optics. Components, Transmission Systems, Measurements*. Moscow: SYRUS SYSTEMS, 1999, 671 p. (In Russ.)
9. Gauer J. *Optical Transmission Systems*. English trans. Moscow: Radio i svjaz', 1989, 501 p. (In Russ.)

Received 16.06.2021

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.932

О ПРЕЦЕДЕНТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ СКАНИРОВАННОГО РУКОПИСНОГО ТЕКСТА

Жуляков Е.Г.¹, Заливин А.Н.², Белов С.П.², Черноморец Д.А.¹, Васильева Н.В.¹

¹ *Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, РФ*

² *Белгородский университет кооперации экономики и права, Белгород, РФ*

E-mail: belov@bsu.edu.ru

В настоящее время накоплены большие хранилища данных, полученных при сканировании рукописных текстов. Существенное место в них занимают сканированные напечатанные документы, которые содержат рукописные подписи должностных лиц. Полученные в процессе сканирования изображения текстов часто подвергаются компьютерному анализу в связи с той или иной необходимостью. Существенный интерес представляет поиск в этих изображениях фрагментов, содержащих заданные словоформы, например в филологии при исследовании частоты использования одним и тем же автором некоторых слов. Можно также указать случаи поиска слов с позиций обеспечения безопасности социально-экономических процессов. Важным примером является обнаружение фальсификаций подписей должностных лиц и т. п. Особенностью автоматического поиска идентичных словных фрагментов на изображениях сканированных документов является возможность их идентификации с использованием только одного образца текста (прецедента), что требует создания специальной методики машинного обучения. В представленной статье разработана решающая процедура отнесения словных фрагментов изображений сканированного рукописного текста к классу идентичных заданному прецеденту. В качестве элементов признакового пространства предложено использовать проекции векторов на соответствующие ненулевым собственным числам собственные векторы субполосных матриц. Обоснован способ формирования суммарных субполосных матриц на основе введенного понятия информационных субполос в области пространственных частот. Предложена процедура обучения на основе одного прецедента. В основе этой процедуры используется разработанный метод формирования векторов, совокупность которых моделирует обучающую выборку. Сформирован алгоритм обработки изображений при поиске идентичных заданному фрагменту.

Ключевые слова: *изображения сканированного рукописного текста, поиск фрагментов, идентичных заданному, субполосный анализ*

Введение

Технологии обработки изображений сканированных рукописных текстов (СРТ) разрабатываются и постоянно развиваются. Основная направленность существующих технологий распознавания рукописных текстов состоит в том, чтобы превратить их в печатный, с которым затем можно работать средствами соответствующих текстовых процессоров. Несмотря на определенную закрытость сведений о математических основах и алгоритмах обработки изображений СКТ, можно отметить, что чаще всего используются некоторые шаблоны рукописных букв, с помощью которых и реализуются решающие процедуры идентификации букв [1–5]. Ясно, что эти процедуры достаточно трудоемкие и невозможно избежать ошибок ввиду изменчивости почерка пишущего даже в одном документе. Причем речь идет о проверке справедливости многих гипотез.

Очевидно, что процедура поиска фрагментов СРТ, образованных заданной словоформой, является более простой с точки зрения принятия решений, так как имеется в виду проверка только одной гипотезы об идентичности фрагментов. В частности, в общем случае это приводит к уменьшению вероятностей ошибочных решений.

С позиций математических основ решения такой задачи следует отметить, что в отличие от отдельных символов их совокупность в словном фрагменте представляет собой некоторую систему, обладающую вполне определенным совокупным свойством. Таким свойством является квазипериодичность контуров символов (букв) вдоль строк, причем для каждой словоформы можно ожидать отличий в этой характеристике. Поэтому естественной математической основой поиска идентичных фрагментов СРТ могут служить частотные представления в области пространственных частот, что реализуется с применением аппарата анализа Фурье. Имея в виду известное равенство Парсеваля между квадратами евклидовых норм фрагментов и их трансформант Фурье, можно показать, что квазипериодичность приводит к повышенной концентрации последней в узких частотных диапазонах. Таким образом адекватной основой обработки СРТ является субполосный анализ. Современный подход к анализу Фурье предполагает явное вычисление трансформант Фурье или КИХ-фильтрацию [6].

Отличием предлагаемого в статье подхода к субполосному анализу является использование аппарата субполосных матриц [7–9]. Отметим, что такой подход позволяет обеспечить инвариантность принятия решений к возможным от-

личиям фрагментов, сформированных в разные моменты времени при написании одних и тех же словоформ одним и тем же автором.

Целью работы является создание для информационно-аналитических систем безопасности технологии обработки изображений СРТ, позволяющей по заданному фрагменту (прецеденту) отыскивать идентичные остальные. Прежде всего речь может идти о фрагментах, образованных начертанием одного из слов (словные фрагменты), которые будем называть ключевыми.

Материалы и методы

В рамках сложившейся терминологии такую технологию обработки изображений СРТ представляется естественным называть прецедентной идентификацией. Для создания такой технологии необходимо по крайней мере разработать:

1) метод принятия решений о справедливости начальной гипотезы: H_0 – сравниваемые фрагменты изображений идентичны заданному;

2) метод обучения, позволяющий по одному прецеденту описать класс, которому принадлежат идентичные фрагменты.

Совокупность этих методов представляет собой метод прецедентной идентификации фрагментов сканированных изображений рукописного текста.

Основу метода принятия решений составляет мера идентичности сравниваемых фрагментов, в которой используются так называемые признаки. Главное требование к набору признаков (признаковое пространство) состоит в адекватности отражения свойств прецедента с точки зрения эффективности описания класса идентичных ему фрагментов. Отметим, что эффективность должна оцениваться с позиций решающей процедуры. В общем случае используемые признаки в классе идентичных фрагментов (образованных одними и теми же словоформами) должны иметь малую изменчивость и достаточно резко изменяться при выходе из этого класса.

Если принять во внимание трудности сегментации фрагментов изображений рукописного текста на буквы, то естественным подходом представляется сопоставление фрагментов в целом. Таким образом, при формировании пространства признаков необходимо отразить состав символов фрагмента прецедента и последовательность их начертания. Иными словами, основную роль должна играть динамика изменений символов.

Изменчивость начертаний символов даже одним и тем же человеком затрудняет использование мер близости фрагментов в виде евклидовой

нормы разности сравниваемых фрагментов. Поэтому возникает необходимость поиска таких преобразований исходных данных, которые малочувствительны к вариативности начертаний символов и стабильно отображают их состав и последовательность начертания.

В рамках данной работы в качестве таких преобразований предлагается использовать субполосные представления в области пространственных частот.

Некоторые определения и соотношения

Субполосные представления заключаются в следующем. Пусть матрица $F = \{f_{ik}\}$, $i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, M$ состоит из значений пикселей некоторого фрагмента изображения рукописного текста. В дальнейшем предполагается, что величина N определяется на этапе задания прецедента (исходного словного фрагмента) и равна количеству занимаемых им строк, а M – количество учитываемых столбцов соответственно. Очевидно, что количество вовлекаемых в анализ пикселей равно произведению этих чисел:

$$K = N * M. \quad (1)$$

В этих условиях можно определить вектор $\vec{x} = (x_1, \dots, x_K)'$, где штрих означает транспонирование, а компоненты определяются соотношениями:

$$x_m = f_{i_m, k_m}, \quad m = 1, \dots, K, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} i_m &= [(m-1)/M] + 1; \\ k_m &= m - [(m-1)/M] * M. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь и в дальнейших формулах квадратные скобки означают целую часть числа.

Таким образом, имеется в виду построчное развертывание рассматриваемого фрагмента. Трансформанта Фурье (спектр) такого вектора определяется соотношением:

$$X(z) = \sum_{m=1}^K x_m \exp(-j(m-1)z). \quad (5)$$

Ясно, что спектр (5) является периодической функцией пространственной круговой частоты z . Поэтому принято рассматривать только один сегмент его области определения (основной лепесток):

$$-\pi < z \leq \pi. \quad (6)$$

Имея в виду соответствие (2), соотношению (5) можно придать следующий вид:

$$X(z) = \sum_{i=1}^N \exp(-j(i-1)Mz) \Phi_i(z), \quad (7)$$

где

$$\Phi_i(z) = \sum_{k=1}^M f_{ik} \exp(-j(k-1)z). \quad (8)$$

Пусть теперь строки фрагментов изображений близки в смысле выполнения тождества:

$$\forall i \in \{1, \dots, N\} \Phi_i(z) \cong \Phi(z), \quad -\pi < z \leq \pi. \quad (9)$$

Тогда представление (7) дает выражение для спектра:

$$\begin{aligned} X(z) &\approx \sin(MzN/2) / \sin(Mz/2) \times \\ &\times \exp(-jMz(N-1)/2) \Phi(z). \end{aligned} \quad (10)$$

Очевидно, что квадрат модуля спектра вида (10) определяется соотношением:

$$\begin{aligned} |X(z)|^2 &\approx (\sin(MzN/2) / \\ &/ \sin(Mz/2))^2 |\Phi(z)|^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, в спектре будут наблюдаться всплески в точках:

$$z_k = 2\pi k / M, \quad k = 0, \pm 1, \dots, \pm M/2, \quad (12)$$

где знаменатель (11) будет стремиться к нулю.

С другой стороны, строки фрагмента также содержат символы, которые могут располагаться почти периодически на расстоянии ширины символов букв. Представляется, что все буквы, написанные одним и тем же человеком, имеют близкую ширину и словный фрагмент содержит их целое количество. Это приводит к тому, что точки максимумов (12) первого сомножителя в (11) могут совпадать с максимумами последнего сомножителя. Иными словами, возможна высокая концентрация энергии рассматриваемого вектора в отдельных субполосах пространственных частот.

Субполосный анализ векторов предполагает, что их свойства оцениваются, исходя из некоторого разбиения области (6) на субполосы, которые в рамках данной работы предлагается задать следующим образом:

$$\Omega_0 = (-\pi / K, \pi / K]; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Omega_r &= (-(2r+1)\pi / K, -(2r-1)\pi / 3] \cup \\ &\cup ((2r-1)\pi / 3, (2r+1)\pi / K]. \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$r = 1, \dots, R = [(K-1)/2]. \quad (15)$$

Основу математического аппарата субполосного анализа составляют субполосные матрицы [10; 11]:

$$A_r = \{a_{ik}^r\}, \quad i, k = 1, \dots, K, \quad (16)$$

элементы которых для рассматриваемого разбиения частотной полосы определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} a_{ik}^0 &= \sin(\pi(i-k)/K) / \\ &/ \pi(i-k), \quad a_{ii}^0 = 1/K; \end{aligned} \quad (17)$$

$$a_{ik}^r = 2a_{ik}^0 \cos(z_r(i-k)), \quad r=1, \dots, R. \quad (18)$$

Справедливы [10] соотношения, определяющие части энергий векторов, попадающие в выбранные субполосы:

$$P_r(\vec{x}) = \int_{z \in \Omega_r} |X(z)|^2 dz / 2\pi = \vec{x}' A_r \vec{x}. \quad (19)$$

Таким образом, субполосные матрицы являются неотрицательно определенными, а их симметрия позволяет представить их в виде произведения [12]:

$$A_r = Q_r L_r Q_r', \quad (20)$$

где $Q_r = (\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_K^r)$ – ортогональная матрица собственных векторов, а $L_r = \text{diag}(\lambda_1^r, \dots, \lambda_K^r)$ – диагональная матрица собственных чисел, удовлетворяющих условиям:

$$A_r Q_r = Q_r L_r. \quad (21)$$

$$1 \geq \lambda_1^r \geq \lambda_2^r \geq \dots \geq \lambda_K^r \geq 0. \quad (22)$$

Подстановка (20) в (19) дает:

$$P_r(\vec{x}) = \sum_{k=1}^K \lambda_k^r (\alpha_k^r)^2, \quad (23)$$

где α_k^r – проекции вектора на собственные векторы субполосной матрицы:

$$\alpha_k^r = (\vec{q}_k^r, \vec{x}) = \sum_{i=1}^K x_i q_{ik}^r. \quad (24)$$

Важно отметить, что только часть собственных чисел субполосной матрицы может быть отлична от нуля [10]. То есть имеют место достаточно точные равенства:

$$\lambda_{k+J_r}^r \approx 0, \quad k=1, \dots, K-J_r. \quad (25)$$

При этом для матрицы с элементами (17) это количество определяется соотношением:

$$J_0 = [K\Omega_0 / \pi] + 4 = 5, \quad (26)$$

тогда как для остальных это значение удваивается:

$$J_r = 2 * J_0 = 10. \quad (27)$$

Поэтому векторы:

$$\vec{y}_r = Q1_r Q1_r' \vec{x} = Q1_r \vec{\alpha}1_r, \quad (28)$$

где $Q1_r$ – матрицы, которые состоят из части исходных собственных векторов:

$$Q1_r = (\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_{J_r}^r), \quad (29)$$

и $\vec{\alpha}1_r$ – часть соответствующих проекций на них, удовлетворяют равенству:

$$P_r(\vec{y}_r - \vec{x}) = 0. \quad (30)$$

Таким образом, в соответствии с определением (19) для отрезков спектров исходного вектора и вектора (28) в среднеквадратическом смысле выполняются тождества:

$$Y_r(z) \equiv X(z), \quad z \in \Omega_r. \quad (31)$$

Иными словами, отрезки спектров совпадают, что является важным свойством и в дальнейшем используется при разработке решающей процедуры прецедентной идентификации фрагментов изображений.

Принятие решений об идентичности сравниваемых фрагментов

В качестве основной характеристики прецедента предлагается использовать понятие совокупности информационных субполос вида (13) и (14):

$$\Omega_S = \bigcup_{r \in R_S} \Omega_r, \quad (32)$$

которые удовлетворяют условиям:

$$P_r(\vec{x}) \geq h_r, \quad (33)$$

где

$$h_0 = 2 \|\vec{x}\|^2 / K; \quad h_r = 2h_0, r > 0; \quad (34)$$

R_S – множество их индексов, а символ $\|\cdot\|$ означает евклидову норму вектора.

Совокупности информационных субполос соответствует суммарная субполосная матрица:

$$A_S = \sum_{r \in R_S} A_r, \quad (35)$$

которая также является симметричной и неотрицательно определенной. Поэтому она также представима в виде:

$$A_S = Q_S L_S Q_S', \quad (36)$$

причем собственные числа удовлетворяют (22) и часть из них близки к нулю:

$$\lambda_{k+J_S}^S = 0, \quad k=1, \dots, K-J_S. \quad (37)$$

Поэтому вектор

$$\vec{y}_S = Q1_S \vec{\alpha}1_S \quad (38)$$

будет обладать свойством

$$P_S(\vec{x} - \vec{y}_S) = 0. \quad (39)$$

Таким образом, для спектра вектора (37) выполняется тождество:

$$Y_S(z) \equiv X(z), \quad z \in \Omega_S. \quad (40)$$

где Ω_S – объединение субполос, дополняющих совокупность Ω_S до полной области (6).

Отметим, что матрица $Q1_S$ состоит из первых соответствующих ненулевым собственным числам собственных векторов, а проекции на них определяются из соотношения

$$\vec{\alpha}1_S = Q1_S' \vec{x}. \quad (41)$$

Использование неравенств вида (33) при формировании суммарной субполосной матрицы дает неравенство:

$$P_S(\vec{x}) > P_S(\vec{x}) = \|\vec{x}\|^2 - P_S(\vec{x}), \quad (42)$$

Таким образом, неучитываемые субполосы содержат тем меньше энергии, чем больше энергии приходится на информационные.

Из равенства [10]:

$$\lambda_k^S = \int_{z \in \Omega_S} |G_{kS}(z)|^2 dz / 2\pi, \quad (43)$$

где подынтегральная функция является спектром соответствующего собственного вектора, следует, что учет в представлении (38) только ненулевых собственных чисел позволяет отфильтровать малоэнергетические компоненты, которые часто обусловлены шумами.

Поэтому в качестве решающей функции (РФ) при оценке идентичности с прецедентом векторов $\vec{u} = (u_1, \dots, u_K)'$ предлагается использовать форму:

$$\rho(\vec{x}, \vec{u}) = 1 - \sum_{k=1}^{J_S} |\alpha_{kS} \beta_{kS}| / \|\vec{\alpha}_{1S}\| \|\vec{\beta}_{1S}\|, \quad (44)$$

где имеется в виду вектор проекций

$$\vec{\beta}_1 = Q_{1S}' \vec{u}. \quad (45)$$

Отметим, что если вектор \vec{q}_k^S является собственным вектором субполосной матрицы (35), то и $-\vec{q}_k^S$ является собственным вектором с тем же собственным числом. Поэтому абсолютные значения компонент векторов (41) и (45) равны проекциям сравниваемых векторов на собственные направления субполосной матрицы. При этом игнорируются возможные фазовые сдвиги, обусловленные неидентичностью написания символов.

В качестве проверяемой начальной гипотезы, естественно, использовать следующее: H_0 : сопоставляемые векторы идентичны.

На основе неравенств между средним арифметическим и средним геометрическим и Коши-Шварца для (44) получаем неравенство:

$$0 \leq \rho(\vec{x}, \vec{u}) \leq 1 - J_S \left(\prod_{k=1}^{J_S} |\alpha_{kS} \beta_{kS}| \right)^{1/J_S} / \|\vec{\alpha}_{1S}\| \|\vec{\beta}_{1S}\|, \quad (46)$$

в котором равенство в левой части достигается при полной идентичности сравниваемых векторов. Ввиду изменчивости записей одной и той же словоформы такое значение РФ практически недостижимо, и надо определять некоторое значение (порог), когда выполняется неравенство для условной вероятности:

$$Ver(\rho(\vec{x}, \vec{u}) \geq h_\alpha / \vec{u} \in XX) \leq \alpha, \quad (47)$$

где символ Ver означает вероятность; XX – множество идентичных векторов; наклонная черта означает условие; α – вероятность ошибок первого рода.

Так как имеет место равенство

$$\max \rho(\vec{x}, \vec{u}) = 1, \quad (48)$$

то область значений, когда начальная гипотеза отвергается (критическая область), имеет вид

$$G = (h_\alpha, 1). \quad (49)$$

Для определения нижней границы критической области используется обучение на основе некоторой выборки векторов. В данном случае необходимо на основе прецедента смоделировать обучающую выборку векторов, которые отвечают некоторому критерию идентичности. Такое моделирование принято называть аугментацией [13].

В качестве признака идентичности предлагается использовать условие

$$\vec{u}_n = \vec{y}_S + \vec{v}_n, \quad n = 1, \dots, Nm, \quad (50)$$

где $\vec{v}_n = (v_1^n, \dots, v_K^n)'$ – векторы, состоящие из псевдослучайных гауссовых чисел, квадраты евклидовых норм которых удовлетворяют равенству

$$\|\vec{v}_n\|^2 = \|\vec{x}\|^2 - P_S(\vec{x}). \quad (51)$$

В качестве нижней границы критической области предлагается использовать максимальное значение РФ вида (44):

$$h_\alpha = \max \rho(\vec{x}, \vec{u}_n), \quad 1 \leq n \leq Nm, \quad (52)$$

когда размер обучающей выборки удовлетворяет равенству

$$Nm = [1/\alpha] + 1. \quad (53)$$

Здесь квадратная скобка снова означает целую часть числа.

Заключение

В рамках данной работы получены соотношения, определяющие решающую процедуру, которую предлагается использовать для поиска идентичных словных фрагментов изображений сканированного рукописного текста на основе одного из заранее заданных (прецедента). Алгоритм обработки изображений в рамках данной процедуры имеет следующие основные этапы: задание прецедента и формирование вектора (2); на основе неравенств (33) формирование субполосной матрицы вида (35); формирование векторов (38) и (41); с использованием принципов аугментации (50) и (51) формирование обучающей выборки и вычисление границы критической области на основе соотношений (52) и (53), предполагая, что вероятность ошибок первого рода задана.

Исследования выполнены при поддержке гранта 20-07-00241а.

Литература

1. Арлазаров В.Л., Славин О.А. Алгоритмы распознавания и технологии ввода текстов в ЭВМ // Информационные технологии и вычислительные системы. 1996. № 1. С. 48–54.

2. Горошкин А.Н. Обработка изображений в системах распознавания рукописного текста // Цифровая обработка сигналов и ее применение: материалы 10-й Международной конференции и выставки. 2008. С. 489–491.
3. Мерков А.Б. Основные методы, применяемые для распознавания рукописного текста // Лаборатория распознавания образов МЦНМО. 2004.
4. Хаустов П.А. Алгоритм сегментации рукописного текста на основе построения структурных моделей // Фундаментальные исследования. 2017. № 4–1. С. 88–93. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41440> (дата обращения: 16.04.2021).
5. Хаустов П.А. Алгоритмы распознавания рукописных символов на основе построения структурных моделей // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41, № 1. С. 67–78. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2017-41-1-67-78>
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 3-е изд., испр. и доп. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
7. Заливин А.Н., Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений // Информационные системы и технологии. 2009. № 2/52. С. 12–22.
8. Image decomposition on the orthogonal basis of subband matrices eigenvectors / E.G. Zhilyakov [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, no. 12. P. 3194–3197.
9. О некоторых свойствах собственных чисел и векторов субполосных матриц / Е.Г. Жиляков [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2016. № 16 (237). С. 180–186.
10. Жиляков Е.Г. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности // Автоматика и телемеханика. 2015. № 4. С. 51–66.
11. Жиляков Е.Г. Построение трендов отрезков временных рядов // Автоматика и телемеханика. 2017. № 3. С. 80–95.
12. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2004. 560 с.
13. Акимов А.В., Сирота А.А. Модели и алгоритмы искусственного размножения данных для обучения алгоритмов распознавания лиц методом Виолы – Джонса // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 6. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-6-911-918>

Получено 27.05.2021

Жиляков Евгений Георгиевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий (ИТСТ) Белгородского государственного национального исследовательского университета (БелГНИУ). 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85. Тел. +7 472 230-13-92. E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Заливин Александр Николаевич, к.т.н., доцент кафедры организации и технологии защиты информации (ОТЗИ) Белгородского университета кооперации экономики и права (БелУКЭП). 308023, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Садовая, 116а. Тел. +7 472 226-38-31. E-mail: zalivin@bsu.edu.ru

Белов Сергей Павлович, д.т.н., профессор, профессор кафедры ОТЗИ БелУКЭП. 308023, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Садовая, 116а. Тел. +7 980 323-61-04. E-mail: belovssergei@gmail.com

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант БелГНИУ. 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85. Тел. +7 472 230-13-92. E-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Васильева Надежда Владимировна, аспирант БелГНИУ. 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85. Тел. +7 472 230-13-92. E-mail: vasileva@bsu.edu.ru

ABOUT PRECEDENT IDENTIFICATION OF IMAGE FRAGMENTS SCANNED MANUSCRIPT

Zhilyakov E.G.¹, Zalivin A.N.², Belov S.P.², Chernomorets D.A.¹, Vasilyeva N.V.¹

¹ *Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation*

² *Belgorod University of Cooperation of Economics and Law, Belgorod, Russian Federation*

E-mail: belov@bsu.edu.ru

At present, large repositories of data obtained by scanning handwritten texts have been accumulated. A significant part of them are presented by scanned printed documents, which contain handwritten signatures of officials. The images of texts obtained in the process of scanning are often subjected to computer analysis in connection with one or another need. Search for fragments of these images, containing preset word forms, for example, in philology when studying the frequency of use of certain words by the same author is of significant interest. You can also indicate cases of word search from the standpoint of ensuring the safety of socio-economic processes. An important example is the detection of falsification of signatures of officials, etc. A feature of the automatic search for identical word fragments in images of scanned documents is the ability to identify them using only one text sample (precedent), which requires the creation of a special machine learning technique. In the presented article a decisive procedure for classifying word fragments of images of scanned handwritten text as identical to a given precedent has been developed. It was proposed to use the projection of vectors onto the eigenvectors of subband matrices corresponding to nonzero eigenvalues as elements of the feature space. A method for the formation of total subband matrices is substantiated on the basis of the introduced concept of information subbands in the area of spatial frequencies. A training procedure based on one precedent is proposed. This procedure is based on the developed method for generating vectors, the totality of which simulates the training sample. An algorithm for processing images when searching for identical to a given fragment was formed.

Keywords: *images of scanned handwritten text, search for fragments identical to a given one, subband analysis*

DOI: 10.18469/ikt.2021.19.3.07

Zhilyakov Evgeny Georgievich, Belgorod State National Research University, 85, Pobedy Street, Belgorod, 308015, Russian Federation; Head of Information and Telecommunication Systems and Technologies Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 472 230-13-92. E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Zalivin Alexander Nikolaevich, Belgorod University of Cooperation of Economics and Law, 116a, Sadovaya Street, Belgorod, 308023, Russian Federation; Associate Professor of Organization and Technology of Information Protection Department, PhD in Technical Science. Tel +7 472 226-38-31. E-mail: zalivin@bsu.edu.ru

Belov Sergey Pavlovich, Belgorod University of Cooperation of Economics and Law, 116a, Sadovaya Street, Belgorod, 308023, Russian Federation; Professor of Organization and Technology of Information Protection Department, Doctor of Technical Sciences. Tel +7 980 323-61-04. Email: belovssergei@gmail.com

Chernomorets Daria Andreevna, Belgorod State National Research University, 85, Pobedy Street, Belgorod, 308015, Russian Federation; PhD Student. Tel. +7 472 230-13-92. E-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Vasilyeva Nadezhda Vladimirovna, Belgorod State National Research University, 85, Pobedy Street, Belgorod, 308015, Russian Federation; PhD Student. Tel. +7 472 230-13-92. E-mail: vasileva@bsu.edu.ru

References

1. Arlazarov V.L., Slavin O.A. Recognition algorithms and technologies for entering texts into computers. *Informatsionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy*, 1996, no. 1, pp. 48–54. (In Russ.)
2. Goroshkin A.N. Image processing in handwriting recognition systems. *Tsifrovaya obrabotka signalov i ee primenenie: materialy 10-j Mezhdunarodnoj konferentsii i vystavki*, 2008, pp. 489–491. (In Russ.)
3. Merkov A.B. Basic methods used for handwriting recognition. *Laboratorija raspoznavaniya obrazov MTsNMO*, 2004. (In Russ.)

4. Haustov P.A. Algorithm for segmentation of handwritten text based on the construction of structural models. *Fundamental'nye issledovanija*, 2017, no. 4–1, pp. 88–93. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41440> (accessed: 16.04.2021). (In Russ.)
5. Haustov P.A. Algorithms for recognizing handwritten characters based on the construction of structural models. *Komp'yuternaja optika*, 2017, vol. 41, no. 1, pp. 67–78. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2017-41-1-67-78> (In Russ.)
6. Gonsales R., Vuds R. *Digital Image Processing*. 3rd ed., rev. and add. Moscow: Tehnosfera, 2012, 1104 p. (In Russ.)
7. Zalivin A.N., Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. On the efficiency of the method for estimating the values of the energy fractions of images based on frequency representations. *Informatsionnye sistemy i tehnologii*, 2009, no. 2/52, pp. 12–22. (In Russ.)
8. Zhilyakov E.G. et al. Image decomposition on the orthogonal basis of subband matrices eigenvectors. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, no. 12, pp. 3194–3197.
9. Zhilyakov E.G. et al. On some properties of eigenvalues and vectors of subband matrices. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Ekonomika. Informatika*, 2016, no. 16 (237), pp. 180–186. (In Russ.)
10. Zhilyakov E.G. Optimal sub-band methods of analysis and synthesis of signals of finite duration. *Avtomatika i telemekhanika*, 2015, no. 4, pp. 51–66. (In Russ.)
11. Zhilyakov E.G. Plotting trends in time series segments. *Avtomatika i telemekhanika*, 2017, no. 3, pp. 80–95. (In Russ.)
12. Gantmaher F.R. *Matrix Theory*. Moscow: Fizmatlit, 2004, 560 p. (In Russ.)
13. Akimov A.V., Sirota A.A. Models and algorithms for artificial data propagation for training face recognition algorithms using the Viola-Jones method. *Komp'yuternaja optika*, 2016, vol. 40, no. 6, DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-6-911-918> (In Russ.)

Received 27.05.2021

УДК 621.3911:621.395

СРЕДНЕМАКСИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ В СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ГРУППОВЫМИ ПУАССОНОВСКИМИ ПОТОКАМИ

Лихтциндер Б.Я.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: lixt@psuti.ru

В качестве модели телекоммуникационного трафика предлагается использовать групповой неординарный пуассоновский поток. Рассмотрены интервальные характеристики указанных потоков, и показана перспективность их применения. Вводится понятие среднемаксимальных значений очередей. Получены соотношения, устанавливающие зависимость среднемаксимальных значений очередей от загрузки и характеристик групповых пуассоновских потоков. Показано, что при малых загрузках среднемаксимальные значения очередей существенно превышают их средние значения. Показана перспективность применения полученных соотношений при анализе пакетного трафика телекоммуникационных сетей.

Ключевые слова: *системы массового обслуживания, групповые пуассоновские потоки, модели, очереди, формула Хинчина – Поллачека, пакетный трафик*

Введение

Одной из разновидностей ВМАР-потоков [1–3] является неординарный пуассоновский поток событий [4]. В таком потоке выполняются свойство стационарности и отсутствия последовательности, но не выполняется свойство ординарно-

сти. В работе [4] в качестве модели телекоммуникационного трафика предлагается использовать групповой неординарный пуассоновский поток. Рассмотрены характеристики средних значений очередей неординарных пуассоновских потоков, и показана перспективность их применения.