

Ключевые этапы обработки шаблона документа современных систем распознавания ID-карт

В.В. АРЛАЗАРОВ^{1,II}

¹ Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

^{II} ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия

Аннотация. В работе решается задача распознавания шаблона удостоверяющего документа, которая является одной из ключевых подзадач современных систем распознавания удостоверяющих документов. Представлена концептуальная схема архитектуры распознающей системы, показано место модуля распознавания шаблона документа, а также детально рассмотрены ключевые этапы его обработки.

Ключевые слова: распознавание документов, идентификационные документы, искусственный интеллект, OCR, распознавание шаблона документа, машинное обучение, обработка изображений.

DOI: 10.14357/20790279220303

Введение

Документ, удостоверяющий личность – это физический объект, выданный законным органом власти в соответствии с определенным набором правил и норм. Такой документ содержит персональные данные (идентификационную информацию) конкретного лица. С точки зрения системы распознавания, документ рассматривается как совокупность именованных полей и элементов, каждый из которых имеет четкое семантическое значение.

Основной компонент высокого уровня визуального представления документов, который принято называть в профильной литературе «шаблон» – плоская прямоугольная страница документа, характеризующаяся статическими элементами, такими как фон, неизменяемый текст, специальные или защитные элементы, национальные эмблемы и т. д. Шаблон также отличается особым расположением статических элементов на странице [1]. Класс документов с фиксированной структурой (в некоторой литературе такие документы называются полуструктурированными документами [2]) характеризуется тремя свойствами их шаблонов:

1) позиции и внешний вид статических элементов шаблона неизменны среди экземпляров документов с данным шаблоном;

- 2) позиции и внешний вид статических элементов шаблона документа отличаются от элементов других шаблонов для того же типа документа, а также от элементов шаблонов других типов документов, и поэтому они могут быть использованы для уникальной идентификации шаблона и типа документа, который данный шаблон представляет;
- 3) шаблон определяет набор объектов данных (например, текстовых полей), которые могут быть извлечены из изображения шаблона, а также определяет их расположение и структуру.

На рис. 1 в качестве примера показан главный разворот общегражданского паспорта гражданина РФ, который в Российской Федерации используется в качестве основного документа, удостоверяющего личность. Разворот состоит из двух шаблонов.

Общая структура системы распознавания удостоверяющих документов представлена на рис. 2. Компоненты системы можно разделить на три категории:

- компоненты, которые обрабатывают входные изображения или видеокadres, выполняя поиск всех шаблонов и определение их координат;
- компоненты, которые обрабатывают каждый отдельный шаблон документа;

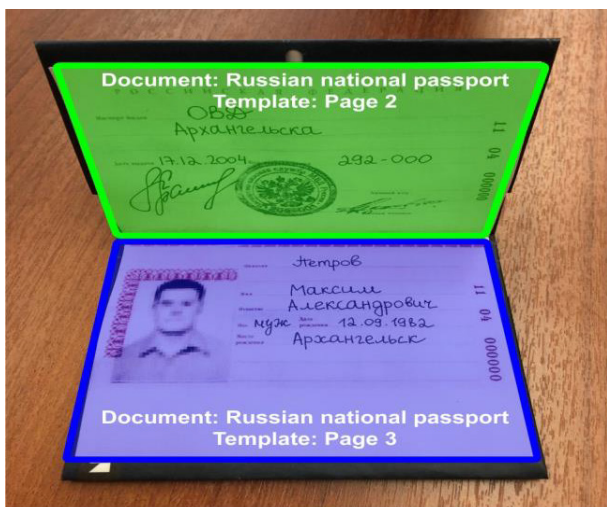


Рис. 1. Пример шаблонов общегражданского паспорта гражданина РФ. Главный разворот документа включает две страницы, каждая из которых представляет собой отдельный шаблон документа

- компоненты, которые комбинируют результаты распознавания шаблонов в логические представления документов, выполняют постобработку и выводят результат распознавания.

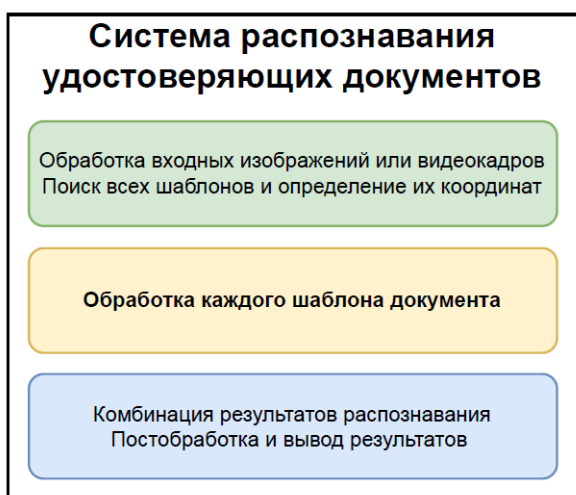


Рис. 2. Общая структура систем распознавания удостоверяющих документов

В современной литературе большое внимание уделено решению задач из первого и последнего блоков общей архитектуры распознающей системы, проиллюстрированной на рис. 2. Так, локализацию и идентификацию шаблонов решают следующими методами:

- методы локализации и идентификации, основанные на предварительном распознавании текста [3, 4];

- методы, локализации по общему визуальному представлению шаблона (например, основанные на алгоритме Виолы и Джонса [5], результатах обнаружения границ документа [6] или нейросетевых моделях глубокого обучения [7]);
- методы, которые используют идентификацию шаблона с помощью обнаружения особых точек и сопоставления дескрипторов [2,8].

В части комбинации постобработки результатов распознавания, используются методы, построенные на применении словарей, валидационных грамматик, N-граммных моделей и т. д. [9–11].

После того как все шаблоны, различимые на входном изображении, найдены и идентифицированы, каждый из них обрабатывается в соответствии с заранее определенным процессом, реализованным в каждой конкретной системе распознавания. Настоящая работа рассматривает концептуальные аспекты ключевых этапов таких процессов в современных распознающих системах.

1. Выделение зон на изображении шаблона

Даже в случае, когда удастся определить точные координаты шаблона, это не всегда означает, что известны точные координаты каждого объекта для распознавания и анализа. Хотя положение статических элементов шаблона фиксировано (согласно предложенному определению шаблона удостоверяющего документа), отдельные объекты, такие как текстовые поля, могут иметь разную длину и даже менять положение. Например, рассмотрим третью (главную) страницу российского общегражданского паспорта (рис. 3). Первые три поля сверху – фамилия, имя, отчество. В шаблоне есть соответствующие статические метки и подчеркивания, которые указывают, где должны располагаться эти поля. Однако горизонтальное положение каждого поля может отличаться в разных документах. Более того, из-за дефектов печати эти поля могут быть смещены вдоль вертикальных осей, пересекаться со статическими линиями на фоне, а также могут иметь небольшой наклон.

На практике оказывается эффективным введение промежуточной субструктуры, представляющей локализованную область шаблона, которая должна использоваться для поиска отдельных объектов. В профильной литературе такие субструктуры называются «зонами». Зона – это область шаблона с заранее определенными координатами, которая может быть обработана единичным применением некоторого заранее определенного алгоритма, который сегментирует зону и извлекает отдельные объекты, такие как текстовые поля или



Рис. 3. Пример третьей (главной) страницы российского общегражданского паспорта

какие-либо другие объекты, представляющие интерес. Зона шаблона может включать в себя один объект (например, одно текстовое поле), несколько полей или объектов, и даже соответствовать всему шаблону документа – в зависимости от сложности шаблона, характеристик извлекаемых объектов и специфики алгоритмов, используемых для извлечения объектов. На рис. 4 представлен шаблон документа и проиллюстрировано 4 зоны.



Рис. 4. Зоны поиска полей на фотографии и странице паспорта Уругвая (образец изображения из Wikimedia Commons)

Таким образом, первым этапом обработки шаблона является выделение зон, в соответствии с информацией о них и их положениях.

2. Обработка зон

Следующим шагом является обработка зоны (например, обнаружение и коррекция углового отклонения, обнаружение специфических элементов защиты, подавление текстуры фона др.). Хотя такая обработка может быть выполнена на уровне отдельных объектов, часто надежность результа-

тов операций повышается, если доступен контекст всей зоны. Хорошим примером может служить изображение, текстовые поля которого имеют одинаковый угловой наклон (из-за дефекта печати) – хотя угол может быть определен на уровне каждого поля. Для получения более надежного и согласованного результата полезно проанализировать зону целиком.

3. Сегментация зон на отдельные объекты

После обработки зона сегментируется на отдельные объекты. Метод сегментации может варьироваться от зоны к зоне, в зависимости от ее структуры: некоторые зоны могут иметь фиксированные локальные координаты каждого отдельного объекта или поля, заданные в соответствующих параметрах, и, таким образом, дополнительный поиск не требуется. В других зонах может потребоваться поиск точных координат полей относительно заранее определенной структуры [12], или даже применение распознавания текста в свободной форме [13].

Результатом процесса сегментации является множество отдельных идентифицированных объектов (таких как текстовые поля, штампы, подписи, области фотографии и т. д.) с известными координатами внутри зоны.

4. Предобработка и распознавание объектов

Последующие шаги обработки шаблона связаны с анализом отдельных объектов. Сначала изображения отдельных объектов подвергаются предварительной обработке (аналогично предобработке изображения зоны). Такая предобработка изображения объекта может включать ректификацию специфических особенностей объектов, например, сдвиг текстовой строки.

Затем каждый отдельный объект подлежит распознаванию, если этого требует специфика данного объекта. Отметим, что свойства поля, подлежащего распознаванию, известны заранее, и сохраненная информация о языке, особенностях используемого шрифта или других характеристиках визуального представления могут быть использованы для повышения надежности и эффективности распознавания. Хотя задача распознавания текстовых полей документа и подобных им объектов, может показаться простой, для формальной постановки такой задачи необходимо четко определить, что считается результатом распознавания и какова метрика качества. Пусть дано ректифицированное изображение текстового поля $I \in \mathbb{I}$, тогда опреде-

лим распознавание как отображение $f_{\mathbb{X}} : \mathbb{I} \rightarrow \mathbb{X}$, где \mathbb{X} – это множество всех возможных результатов распознавания. Часто \mathbb{X} представляют как множество строк символов, однако в некоторых случаях, в частности, чтобы производить дальнейшую обработку результатов распознавания, \mathbb{X} представляют как последовательность результатов распознавания на уровне символов, каждый из которых является отображением из предопределенного алфавита во множество оценок соответствия. Пусть задано множество изображений текстовых полей с разметкой (ground truth) $D_{\mathbb{X}} = \{(I_1, x_1), (I_2, x_2), \dots, (I_n, x_n)\} \subset \mathbb{I} \times \mathbb{X}$, тогда задача распознавания текстовых полей заключается в поиске такого отображения $f_{\mathbb{X}}$, чтобы среднее расстояние между результатами распознавания текста и разметкой было минимально согласно некоторой метрике $\rho_{\mathbb{X}} : \mathbb{X} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{R}_0^+$:

$$\frac{1}{Card(D_{\mathbb{X}})} \cdot \sum_{(I,x) \in D_{\mathbb{X}}} \rho_{\mathbb{X}}(f_{\mathbb{X}}(I), x) \rightarrow \min_{f_{\mathbb{X}}}$$

Простейшей метрикой $\rho_{\mathbb{X}}$ для оценки качества распознавания текстовых полей является непосредственное сравнение строк

$$\rho_E(x_1, x_2) = [x_1 \neq x_2],$$

при которой среднее расстояние в соответствии с формулой соответствует количеству неправильно распознанных входных полей. Можно использовать другие метрики, например расстояние Левенштейна (минимальное количество вставок, удалений и замен, необходимых для преобразования первой строки во вторую), скорость распознавания символа [14], нормализованное расстояние Левенштейна [16] и др. Отметим, что расстояние Левенштейна и нормализованное расстояние Левенштейна можно обобщить, чтобы использовать для представления результатов распознавания с оценкой соответствия символов [15, 16].

5. Комбинирование результатов и останов распознавания

Если в качестве входных данных для системы распознавание используется последовательность кадров (распознается видеопоток, вместо единичного изображения), то возникают задачи комбинирования результатов распознавания в общий результат (так называемый процесс интеграции результатов), а также остановка процесса распознавания.

Задача комбинирования результатов распознавания при заданной последовательности изображений полей с соответствующими результатами распознавания, полученными из разных кадров,

формально заключается в поиске семейства отображений $c^{(k)} : \mathbb{X}^k \rightarrow \mathbb{X}$, где k – это число результатов полей для каждого кадра. Пусть задано множество последовательностей изображений полей

$$D_{\mathbb{X}^k} = \{(I_{11}, \dots, I_{1k}, x_1), \dots, (I_{n1}, \dots, I_{nk}, x_n)\} \subset \mathbb{I}^k \times \mathbb{X},$$

тогда задача заключается в поиске такого метода комбинирования $c^{(k)}$, при котором среднее расстояние между конечным результатом и разметкой (ground truth) минимально:

$$\frac{\sum_{(I_1, \dots, I_k, x) \in D_{\mathbb{X}^k}} \rho_{\mathbb{X}}(c^{(k)}(f_{\mathbb{X}}(I_1), \dots, f_{\mathbb{X}}(I_k)), x)}{Card(D_{\mathbb{X}^k})} \rightarrow \min_{c^{(k)}}$$

где $f_{\mathbb{X}}$ – это метод распознавания полей, $\rho_{\mathbb{X}}$ – метрика на множестве результатов распознавания полей из задачи распознавания полей (см. формулу).

Даже простые стратегии, такие как выбор результатов с максимальным значением метрики качества или максимальным значением уровня доверия к результату распознавания, могут использоваться в качестве метода комбинирования, наряду с такими процедурами как ROVER (Recognizer Output Voting Error Reduction) [17] и расширением его для результатов распознавания текста с кандидатами на уровне символов [15].

Чтобы описать остановку процедуры распознавания, необходимо ввести понятие стоимости наблюдения. Обозначим стоимость получения k наблюдений поля как $\gamma_k(I_1, I_2, \dots, I_k)$, что есть стоимость получения изображений I_1, I_2, \dots, I_k , их обработки и распознавания. Обозначим потенциальную ошибку распознавания комбинированного результата как $c^{(k)}(f_{\mathbb{X}}(I_1), \dots, f_{\mathbb{X}}(I_k))$. Стоимость наблюдения в самом простом случае может быть определена как число обработанных кадров k , или в общем случае, время или ресурсы, затраченные на получение кадров и их обработку. Общую потерю после получения и обработки k изображений поля можно записать следующим образом:

$$L_k(I_1, \dots, I_k, x) = \rho_{\mathbb{X}}(c^{(k)}(f_{\mathbb{X}}(I_1), \dots, f_{\mathbb{X}}(I_k)), x) + \gamma_k(I_1, \dots, I_k),$$

где x – это разметка (ground truth) распознаваемого поля.

Условие остановки – это время остановки (или кадр остановки) K , который может рассматриваться как случайная величина, распределение которой зависит от наблюдений I_1, I_2, \dots . Задача остановки подразумевает минимизацию ожидаемой потери при определенном моменте остановки:

$$E(L_K(I_1, I_2, \dots, I_K, x) | D_{\mathbb{X}^k}) \rightarrow \min_K,$$

где $E(\cdot)$ – математическое ожидание, $D_{\mathbb{X}^k}$ – множество последовательностей изображений полей, K –

множество $\{1, 2, \dots, k\}$ всех возможных моментов остановки.

Простейшее условие остановки – остановка после того, как фиксированное число кадров было обработано. Однако существуют более эффективные подходы, например порог по максимальному кластеру идентичных результатов [18] или моделирование комбинированного результата распознавания на следующем этапе процесса [19].

Результаты распознавания объектов, не являющихся текстом, таких как личные подписи или фотографии, также могут быть комбинированы. Например, можно выбрать одно лучшее изображение путем анализа фокусировки, освещения или наличия бликов. В качестве альтернативы изображения, извлеченные из отдельных кадров, могут быть объединены в одно более высокого качества с использованием методов сверхразрешения [20].

Заключение

Задача автоматического извлечения данных из изображений документов, удостоверяющих личность, стала предметом изучения начиная с 2000 гг., в частности, чтобы обеспечить более эффективный ввод данных и проверку личной информации при регистрации в гостинице, посадке в самолет и т.д.

Сама по себе задача распознавания таких документов состоит из множества сложных подзадач, среди которых одной из ключевых является распознавание найденного шаблона документа.

В настоящей работе рассмотрена общая структура систем распознавания удостоверяющих документов, указано место модуля распознавания локализованного шаблона документа, а также детально рассмотрены ключевые этапы распознавания шаблона.

Литература

1. *Awal A.M., Ghanmi N., Sicre R. and Furon T.* Complex document classification and localization application on identity document images // 2017 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). 2017. Vol. 01. P. 426–431.
2. *Augereau O., Journet N. and Domenger J.-P.* Semi-structured document image matching and recognition // Document Recognition and Retrieval XX, R. Zanibbi and B. Coüason. Eds. 2013. Vol. 8658. P. 13–24.
3. *Ryan M. and Hanafiah N.* An examination of character recognition on id card using template matching approach // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 59. P. 520–529.
4. *Slavin O.A.* Using Special Text Points in the Recognition of Documents. Cham: Springer International Publishing. 2020. P. 43–53.
5. *Minkina A., Nikolaev D., Usilin S. and Kozyrev V.* Generalization of the Viola-Jones method as a decision tree of strong classifiers for real-time object recognition in video stream // ICMV 2014. 2015. Vol. 9445. No. 944517. P. 1–5.
6. *Puybareau E. and Geraud T.* Real-time document detection in smartphone videos // 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2018. P. 1498–1502.
7. *Das Neves Junior R.B., Lima E., Bezerra B.L., Zanchettin C. and Toselli A.H.* HU-PageScan: a fully convolutional neural network for document page crop // IET Image Processing. 2020. Vol. 14. P. 3890–3898.
8. *Loc C.V., Cao De T., Burie J.C. and Ogier J.M.* Content region detection and feature adjustment for securing genuine documents // 12th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE). 2020. P. 103–108.
9. *Mei J., Islam A., Wu Y., Moh'd A. and Milios E.E.* Statistical Learning for OCR Text Correction // arXiv preprint arXiv:1611.06950. 2016.
10. *Nguyen T., Jatowt A., Coustaty M., Nguyen N. and Doucet A.* Post-OCR error detection by generating plausible candidates // 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). 2019. P. 876–881.
11. *Llobet R., Cerdan-Navarro J., Perez-Cortes J. and Arlandis J.* OCR post-processing using weighted finite-state transducers // 20th International Conference on Pattern Recognition. 2010. P. 2021–2024.
12. *Povolotskiy M.A. and Tropin D.V.* Dynamic Programming Approach to Template-based OCR // ICMV 2018. 2019. Vol. 11041. No. 110411T.
13. *Zhou X., Yao C., Wen H., Wang Y., Zhou S., He W. and Liang J.* EAST: An efficient and accurate scene text detector // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017. P. 2642–2651.
14. *Chernyshova Y.S., Sheshkus A.V. and Arlazarov V.V.* Two-step CNN framework for text line recognition in camera-captured images // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 32 587–32 600.
15. *Bulatov K.B.* A method to reduce errors of string recognition based on combination of several recognition results with per-character alternatives // Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming

- and Computer Software. 2019. Vol. 12. No. 3. P. 74–88.
16. *Yujian L. and Bo L.* A normalized Levenshtein distance metric // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2007. Vol. 29. No. 6. P. 1091–1095.
 17. *Fiscus J.G.* A post-processing system to yield reduced word error rates: Recognizer Output Voting Error Reduction (ROVER) // IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding. 1997. P. 347–354.
 18. *Arlazarov V.V., Bulatov K., Manzhikov T., Slavin O. and Janiszewski I.* Method of determining the necessary number of observations for video stream documents recognition // Proc. SPIE (ICMV 2017). 2018. Vol. 10696.
 19. *Bulatov K., Razumnyi N. and Arlazarov V.V.* On optimal stopping strategies for text recognition in a video stream as an application of a monotone sequential decision model // International Journal on Document Analysis and Recognition. 2019. Vol. 22. No. 3. P. 303–314.
 20. *Ren H., El-Khamy M. and Lee J.* Video super resolution based on deep convolution neural network with two-stage motion compensation // 2018 IEEE International Conference on Multimedia Expo Workshops (ICMEW). 2018. P. 1–6.

Арлазаров Владимир Викторович. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия. Заведующий отделом, кандидат технических наук. Количество печатных работ: 130. Область научных интересов: искусственный интеллект, машинное обучение, системы распознавания, информационные технологии. E-mail: vva777@gmail.com

Key stages of document template processing in modern identification document recognition systems

V.V. Arlazarov^{I,II}

^I Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^{II} Smart Engines Service LLC, Moscow, Russia

Abstract. In this paper, the problem of template recognition of identity documents is considered. This problem is one of the key subtasks of modern recognition systems of identity documents. The paper presents a conceptual diagram of the architecture of the recognition system, defines the place of the document template recognition module, and considers in detail the key stages of document template processing.

Keywords: *document recognition, identification documents, artificial intelligence, OCR, template recognition, machine learning, image processing*

DOI: 10.14357/20790279220303

References

1. *Awal A.M., Ghanmi N., Sicre R. and Furon T.* Complex document classification and localization application on identity document images // 2017 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). 2017. Vol. 01. P. 426–431.
2. *Augereau O., Journet N. and Domenger J.-P.* Semi-structured document image matching and recognition // Document Recognition and Retrieval XX, R. Zanibbi and B. Coüason. Eds. 2013. Vol. 8658. P. 13–24.
3. *Ryan M. and Hanafiah N.* An examination of character recognition on id card using template matching approach // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 59. P. 520–529.
4. *Slavin O.A.* Using Special Text Points in the Recognition of Documents. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 43–53.
5. *Minkina A., Nikolaev D., Usilin S. and Kozyrev V.* Generalization of the Viola-Jones method as a decision tree of strong classifiers for real-time object recognition in video stream // ICMV 2014. 2015. Vol. 9445. No. 944517. P. 1–5.
6. *Puybareau E. and Geraud T.* Real-time document detection in smartphone videos // 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2018. P. 1498–1502.
7. *Das Neves Junior R.B., Lima E., Bezerra B.L., Zanchettin C. and Toselli A.H.* HU-PageScan: a fully convolutional neural network for document page crop // IET Image Processing. 2020. Vol. 14. P. 3890–3898.
8. *Loc C.V., Cao De T., Burie J.C. and Ogier J.M.* Content region detection and feature adjustment for securing genuine documents // 12th International

- Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE). 2020. P. 103–108.
9. *Mei J., Islam A., Wu Y., Moh'd A. and Milios E.E.* Statistical Learning for OCR Text Correction // arXiv preprint arXiv:1611.06950. 2016.
 10. *Nguyen T., Jatowt A., Coustaty M., Nguyen N. and Doucet A.* Post-OCR error detection by generating plausible candidates // 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). 2019. P. 876–881.
 11. *Llobet R., Cerdan-Navarro J., Perez-Cortes J. and Arlandis J.* OCR post-processing using weighted finite-state transducers // 20th International Conference on Pattern Recognition. 2010. P. 2021–2024.
 12. *Povolotskiy M.A. and Tropin D.V.* Dynamic Programming Approach to Template-based OCR // ICMV 2018. 2019. Vol. 11041. No. 110411T.
 13. *Zhou X., Yao C., Wen H., Wang Y., Zhou S., He W. and Liang J.* EAST: An efficient and accurate scene text detector // 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017. P. 2642–2651.
 14. *Chernyshova Y.S., Sheshkus A.V. and Arlazarov V.V.* Two-step CNN framework for text line recognition in camera-captured images // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 32 587–32 600.
 15. *Bulatov K.B.* A method to reduce errors of string recognition based on combination of several recognition results with per-character alternatives // Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2019. Vol. 12. No. 3. P. 74–88.
 16. *Yujian L. and Bo L.* A normalized Levenshtein distance metric // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2007. Vol. 29. No. 6. P. 1091–1095.
 17. *Fiscus J.G.* A post-processing system to yield reduced word error rates: Recognizer Output Voting Error Reduction (ROVER) // IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding. 1997. P. 347–354.
 18. *Arlazarov V.V., Bulatov K., Manzhikov T., Slavina O. and Janiszewski I.* Method of determining the necessary number of observations for video stream documents recognition // Proc. SPIE (ICMV 2017). 2018. Vol. 10696.
 19. *Bulatov K., Razumnyi N. and Arlazarov V.V.* On optimal stopping strategies for text recognition in a video stream as an application of a monotone sequential decision model // International Journal on Document Analysis and Recognition. 2019. Vol. 22. No. 3. P. 303–314.
 20. *Ren H., El-Khamy M. and Lee J.* Video super resolution based on deep convolution neural network with two-stage motion compensation // 2018 IEEE International Conference on Multimedia Expo Workshops (ICMEW). 2018. P. 1–6.

Arlazarov V.V. Head of the Department for the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. PhD. Number of articles: 130. Research interests: artificial intelligence, machine learning, recognition systems, information technology, queueing theory.
E-mail: vva777@gmail.com