

К вопросу о возможностях применения систем искусственного интеллекта при криминалистическом исследовании документов и их реквизитов

 А.Ф. Купин^{1,2},  А.С. Коваленко²

¹ Следственный комитет Российской Федерации, Москва 105005, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва 105005, Россия

Аннотация. В статье изложены возможности применения систем искусственного интеллекта, используемых при выполнении ряда заданий, возникающих в процессе осуществления правоохранительной деятельности, а также за ее пределами. Приведены примеры решения задач идентификации, предсказания, выявления, которые успешно решаются с помощью указанных систем. На основе рассмотрения принципов построения и функционирования нейронной сети, составляющей основу искусственного интеллекта, как абстрактной модели, создаваемой для решения определенной задачи, раскрыты возможности нейронных сетей в целом, и тем самым продемонстрированы особенности работы с ними. Описаны порядки и принципы работы сверточных нейронных сетей и на их примере обозначены результаты, которые могут быть достигнуты в ходе проведения судебных почерковедческих и технико-криминалистических экспертиз документов, а также исследований, проводимых в рамках осуществления судебно-экспертной деятельности, в частности определения признаков технической подделки документов (монтажа, подчистки, дописки, дорисовки), установления фактов исполнения нескольких подписей либо рукописных записей одним либо разными исполнителями, установления первоначального содержания записей, фрагменты которых были частично утрачены или искажены. Раскрыты перспективы и значение сверточных нейронных сетей, применение которых в процессе производства экспертных исследований позволяет повысить научную обоснованность и объективность выводов судебной экспертизы и, тем самым, создает предпосылки для повышения ее роли в части доказывания фактов, имеющих значение.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, сверточные нейронные сети, архитектура нейронных сетей, машинное обучение, судебная экспертиза, документы*

Для цитирования: Купин А.Ф., Коваленко А.С. К вопросу о возможностях применения систем искусственного интеллекта при криминалистическом исследовании документов и их реквизитов // Теория и практика судебной экспертизы. 2023. Т. 18. № 4. С. 28–35.
<https://doi.org/10.30764/1819-2785-2023-4-28-35>

On the Question of the Applicability of Artificial Intelligence Systems to Forensic Examination of Documents and Their Requisites

 Alexey F. Kupin^{1,2},  Anna S. Kovalenko²

¹ The Investigative Committee of the Russian Federation, Moscow 105005, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”, Moscow 105005, Russia

Abstract. The article describes the possibilities of applying artificial intelligence systems used in a number of tasks arising in the course of law enforcement activities and also beyond them. The author gives examples of solving identification, prediction, and detection problems that are successfully solved using such systems. Based on the analysis of the principles of the construction and functioning of the neural network, which forms the basis of artificial intelligence, as an abstract model created to solve a specific problem, the capabilities of neural networks as a whole are revealed, and thus the features

of working with them are demonstrated. The procedure and principles of operation of convolutional neural networks are described and, using their example, the results that can be achieved during forensic handwriting and technical forensic examinations of documents, as well as studies conducted within the framework of forensic expert activities, in particular, the identification of signs of technical forgery of documents (installation, erasure, additions, finishing) are indicated, establishing the facts of the execution of several signatures or handwritten records by one or different performers, establishing the original content of the records, fragments of which have been partially lost or distorted. The prospects and significance of convolutional neural networks are revealed, the use of which in the expert research process makes it possible to increase the scientific validity and objectivity of the conclusions of forensic examination and, thereby, creates prerequisites for increasing its role in proving facts of importance.

Keywords: *artificial intelligence, convolutional neural networks, neural network architecture, machine learning, forensic examination, documents*

For citation: Kupin A.F., Kovalenko A.S. On the Question of the Applicability of Artificial Intelligence Systems to Forensic Examination of Documents and Their Requisites. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2023. Vol. 18. No. 4. P. 28–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2023-4-28-35>

Введение

Системы искусственного интеллекта находят применение в различных сферах человеческой деятельности, таких как медицинские технологии, научные исследования, банковская деятельность, разработка систем вооружения и безопасности и тому подобное. Не является исключением и судебная экспертиза, требующая постоянного внедрения новых технологий, отвечающих требованиям и вызовам современного общества и способных решать задачи судебной экспертизы в реалиях непрерывного развития науки и техники.

Идея создания и использования систем, способных имитировать когнитивные функции человека при анализе больших объемов данных и решении сложных аналитических задач возникла с появлением вычислительных машин, которые впервые были описаны в 1936 году Аланом Тьюрингом (Alan Turing). Одним из первых термин «искусственный интеллект» использовал исследователь Джон Маккарти (John McCarthy) на организованной им конференции в Дартмутском университете в 1956 году [1, с. 22].

Особая важность развития и внедрения технологии искусственного интеллекта подчеркивается в утвержденной Президентом РФ в октябре 2019 года Национальной стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года. В соответствии с документом под искусственным интеллектом следует понимать комплекс технологических решений, позволяющий имитировать

когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека¹. Аналогичное определение приводится в ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения».

Применение систем искусственного интеллекта для решения задач почерковедческой и технико-криминалистической экспертизы документов

Применительно к вопросам, возникающим в процессе осуществления правоохранительной деятельности, можно выделить следующие основные группы задач, при решении которых представляется эффективным использование технологий искусственного интеллекта:

- идентификация;
- предсказание;
- выявление.

В качестве примера задач первой группы можно привести решение вопроса об отнесении подписи к подложным или подлинным в результате проведения идентификации исполнителя.

Задачи предсказания связаны с прогнозированием значений зависимой перемен-

¹ Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

ной на основе одной или нескольких независимых (предикторных) [2, с. 639]. То есть они подразумевают определение на основе анализа статистических данных будущих состояний определенной системы или ее отдельных показателей, например роста или снижения преступности в регионе, мест сокрытия трупов или места нахождения преступника [3, с. 5]. Так, А.А. Бессоновым была описана система, позволяющая с определенной точностью прогнозировать расстояние от места преступления до места жительства преступника, его возраст, наличие психического заболевания и судимости, а также некоторые другие характеристики [4, с. 48–51].

Третья группа задач связана с выявлением структуры закономерностей, позволяющих осуществлять идентификацию и прогнозирование [2, с. 639; 5, с. 64].

Одним из актуальных и перспективных направлений применения искусственного интеллекта в судебной экспертизе представляется исследование документов. В частности, системы искусственного интеллекта могут быть использованы для сравнения подписей и фрагментов рукописных записей в разных документах с целью установления фактов выполнения их одним либо несколькими исполнителями. Обусловлено это в первую очередь тем, что в случае появления сомнений в их подлинности по причине различия общих и частных признаков (наклона, размера, формы отдельных элементов и пр.) проверка занимает длительное время и требует применения специальных знаний. К тому же установить факт подделки подписи (рукописной записи) другим лицом либо выполнения ее непосредственно самим исполнителем, от имени которого она значится, удастся не всегда. К этому приводит ряд причин: относительная краткость и (или) простота конструктивного строения исследуемой подписи (рукописной записи); различия в условиях выполнения изучаемой подписи (рукописной записи) в исследуемом документе (например, в состоянии возбуждения, стресса, алкогольного опьянения и др.) и сравниваемых образцах; искажения признаков в исследуемых почерковых объектах, связанных, например, с обстоятельствами воспроизведения подписи (рукописной записи) с подражанием почерку другого лица и т. д.

Не теряет актуальности исследование документов прошлых лет, которые заполнялись исключительно рукописным способом,

но со временем частично утратили свое содержание под воздействием факторов внешней среды, а также иных причин (особенностей манеры письма, проявляющейся в рукописи в виде частично не дописываемых либо не читаемых штрихов отдельных букв и цифр, а также использования вариантов букв, отличных от норм прописи и т. д.). Поэтому представляется актуальным использование технологий искусственного интеллекта для распознавания содержания рукописных текстов, фрагменты букв и цифр которых частично не дописаны либо искажены в силу естественных или искусственных причин. Кроме того, некоторые задачи криминалистики и судебной экспертизы, для решения которых могут быть использованы технологии искусственного интеллекта, были приведены Д.В. Бахтевым [6, с. 46; 7, с. 70], который в их числе выделяет возможность автоматизации выявления признаков подлога документов.

Понятие и основные виды архитектуры нейронных сетей

Наиболее эффективным способом организации искусственного интеллекта являются искусственные нейронные сети. Они имитируют работу человеческого мозга, представляя собой его упрощенную модель. При этом важно понимать, что это абстрактные модели, созданные для решения каких-либо задач, а не попытка приблизиться к реальной структуре мозга человека и понять его работу [8, с. 24].

Под нейроном в искусственной нейронной сети понимается вычислительная единица, проводящая вычисления на основе входной информации и передающая полученный результат на вход следующего слоя или на выход сети. В зависимости от положения в структуре сети выделяют входные, скрытые и выходные нейроны. Связь между нейронами называется синапсом и характеризуется таким параметром, как синаптический вес, на основании значения которого обрабатывается входная информация. Таким образом, информация в искусственной нейронной сети передается между нейронами, а структура и вес связей между ними определяют ее поведение [9, с. 7; 10, с. 1333].

Несмотря на существование множества вариантов архитектуры нейронных сетей, это направление научных исследований находится в состоянии непрерывного развития, в связи с чем постоянно появляются их

новые виды. Наиболее полная классификация была составлена исследователями Института Азимова (The Asimov Institute) [11]. Отметим, что многие из представленных в классификации нейронных сетей используются для решения специфических задач и не имеют широкого применения. К их наиболее распространенным видам относят следующие.

1. Сети прямого распространения (feed forward neural networks, FFNN) [12, с. 403].

2. Многослойные сети или перцептроны (perceptrons, P) [12, с. 389].

3. Рекуррентные сети (recurrent neural networks, RNN) [13, с. 184].

4. Сверточные сети (convolutional neural networks, CNN) [14, с. 2283].

Для судебной экспертизы, в частности при исследовании документов, наибольший интерес представляют сверточные нейронные сети, так как именно этот класс архитектур используется при решении задач, связанных с обработкой изображений.

Принцип работы сверточных нейронных сетей

Сама концепция сверточной сети заимствована из области исследований зрительной коры головного мозга и основывается на принципах работы биологической зрительной системы [8, с. 177]. Информация с сетчатки глаза доходит до мозга через зрительный нерв, который входит в таламус – отдел мозга, обрабатывающий информацию от органов чувств, где происходит первичная обработка информации, которая затем поступает в зрительную кору [8, с. 178]. Зрительная кора делится на несколько зрительных зон, отличающихся друг от друга архитектурой, физиологией и функциональной специализацией (рис. 1). Именно такая система нашла отражение в сверточных

нейронных сетях: на высоких уровнях выделяются общие абстрактные признаки, на нижних – более конкретные.

Помимо строгих иерархических связей в рассматриваемой системе присутствуют непоследовательные связи между зонами (например, информация из зоны 1 передается не только в зону 2, но и в зону 5), что используется при построении сверточных сетей. Также в таких системах существует обратная связь – передача сигнала от высоких уровней к более низким [9, с. 180].

Аналогично принципам работы зрительной системы сверточная нейронная сеть работает с небольшими участками считанного изображения. Его входной сигнал подается на вход нейрона в пределах ограниченной области заданного размера, после чего выделенная область смещается на заданный шаг и новый фрагмент подается на вход второго нейрона группы [8, с. 1843; 15, с. 679]. Так происходит сканирование всего изображения, каждый фрагмент которого подается на соответствующий нейрон. Весовые коэффициенты в пределах одной группы одинаковые.

Далее обозначенный процесс сканирования повторяется для каждой группы нейронов сверточного слоя. В пределах одного слоя эти группы идентичны и различаются только весовыми коэффициентами. Значение, получаемое на входе нейрона, вычисляется по формуле:

$$y_{\alpha,\beta} = \sum_{i,j=1}^n x_{i+\alpha,j+\beta} * \omega_{i,j} + h, \quad (1)$$

где:

α, β – коэффициенты смещения,

n – размер окна сканирования,

$x_{i,j}$ – входной сигнал,

ω – весовой коэффициент,

h – шаг сканирования.

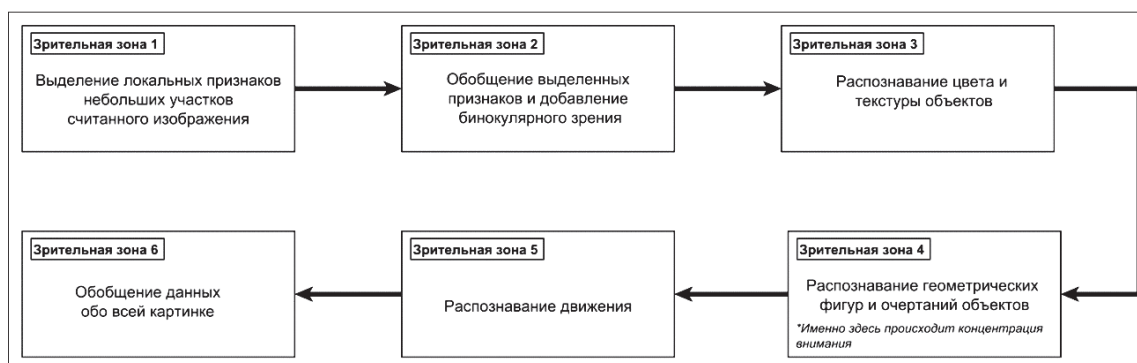


Рис.1. Зоны зрительной коры головного мозга

Fig. 1. Zones of the visual cortex

Такая формула называется сверткой. Матрица весовых коэффициентов каждой группы нейронов называется ядром фильтра, которое позволяет выделять характерные признаки на изображении. То есть нейроны каждой группы активизируются тогда, когда на участке изображения появляется фрагмент, подходящий под их ядро фильтра. В результате на выходе формируется набор карт признаков или каналов, значимые величины в каждой из которых показывают наличие того или иного признака в определенном месте изображения.

Выходное значение для карт признаков вычисляется по формуле:

$$\delta = f(y_{\alpha,\beta}), \quad (2)$$

где:

$f()$ – функция активации,

$y_{\alpha,\beta}$ – сумма на входе соответствующего нейрона (1).

Для сверточных сетей в качестве функции активации как правило используется гиперболический тангенс:

$$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}, \quad (3)$$

где:

x – входное значение;

e – экспонента.

Далее карты признаков передаются на вход следующего слоя нейронов, который, обрабатывая полученные данные, проводит их обобщение, выделяет геометрические фигуры и различные пересечения. Последующие слои работают по аналогичному принципу: принимают на вход многоканальные изображения и выделяют в них общие признаки.

Помимо сверточных слоев, в нейронной сети могут быть pooling слои, которые применяются для сжатия карт и выделения самых значимых из них. Общая схема работы сверточной нейронной сети представлена на рисунке 2.

В случае если осуществляется обработка изображения, представленного в цветовой модели RGB, каждая цветовая компонента обрабатывается отдельным фильтром.

К выходному слою сверточной сети для дальнейшей обработки информации, как правило, добавляется сеть прямого пространства или перцептрон [12, с. 389]. Такие сети называются глубокими сверточными сетями (deep convolutional neural networks, DCNN).

Таким образом, сверточные нейронные сети состоят из двух видов слоев: сверточные (convolutional) и субдискретизирующие (subsampling, подвыборка), которые, чередуясь между собой, формируют входной вектор признаков для следующей сети [14, с. 2285].

Особенности разработки и применения систем искусственного интеллекта для криминалистического исследования документов и их реквизитов

Как следует из формулы (1) и рассмотренного принципа работы сверточной нейронной сети, одним из основополагающих факторов, определяющих результат вычисления, является правильная настройка весовых коэффициентов, которая осуществляется с помощью методов машинного обучения.

Машинное обучение используется для настройки параметров работы сети и повышения ее точности и представляет собой

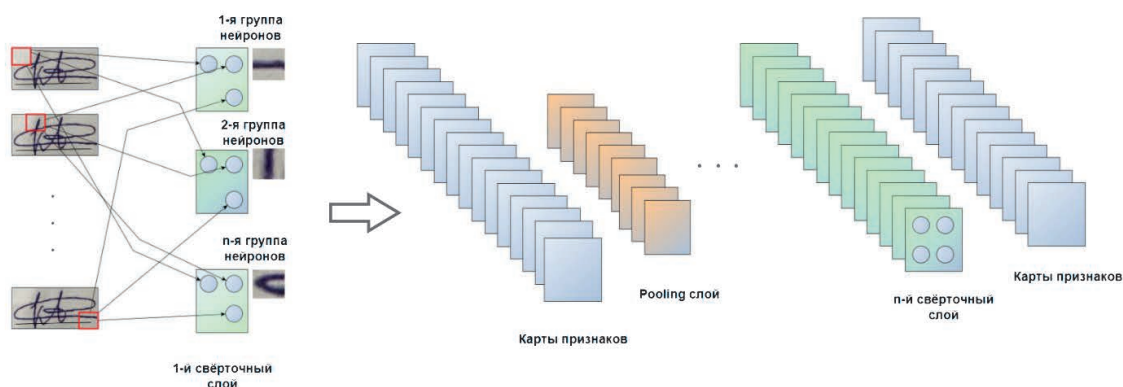


Рис. 2. Общая схема работы сверточной нейронной сети
Fig. 2. General scheme of convolutional neural network operation

алгоритмы поиска правил преобразования данных в заранее заданном пространстве гипотез с использованием в качестве обратной связи уже известного результата [3, с. 638]. Суть машинного обучения заключается в том, что исследователь вводит данные и ожидаемые от их обработки ответы и получает правила, уже применимые к новым данным для получения оригинальных ответов [16, с. 210].

Таким образом, разработка нейронной сети включает в себя подбор тестовых и обучающих наборов данных – датасетов (dataset) – для обучения спроектированной модели сети, в результате которого происходит настройка и корректировка ее параметров. При создании тестовых и обучающих наборов данных должны учитываться особенности той предметной области, для которой создается нейронная сеть, поэтому при разработке такого программного обеспечения необходимо использование не только знаний специалистов в области технологий искусственного интеллекта, но и специальных знаний эксперта. Именно эксперт, являясь специалистом в предметной области, для которой разрабатывается программное обеспечение, может оказать продуктивное содействие при подборе обучающих и тестовых наборов данных и дать грамотную оценку полученным результатам. В этой связи на этапе разработки нейронной сети представляется целесообразным привлечение экспертов, обладающих соответствующими специальными знаниями в тех родах экспертиз, для решения задач которых создается программное обеспечение.

Именно от правильной настройки параметров нейронной сети на начальных стадиях ее построения зависит точность получаемых результатов. В этой связи особую важность приобретает предоставление грамотно подобранных наборов данных. Так, при создании тестовых и обучающих наборов данных важно проконтролировать, чтобы включаемые в них данные были непротиворечивы и отражали общие и частные признаки анализируемых объектов².

Еще одним существенным фактором является количество входящих в набор объектов. В качестве приемлемого количества

однотипных изображений для формирования базы для обучения и тестирования нейронной сети специалистами по сбору и анализу больших данных приводится значение 80 000³.

Как уже было замечено, при подготовке наборов данных важное значение имеет специфика предметной области, для которой разрабатывается программное обеспечение. Например, для обучения нейронной сети, задачей которой является сравнение подписей с целью установления фактов их выполнения одним либо несколькими исполнителями, в качестве объектов, составляющих набор данных, выступают оцифрованные изображения подписей. При этом при оцифровке изображений для включения в набор данных следует использовать методы и средства, максимально сохраняющие качество изображения.

В последующем обученная с помощью подготовленных наборов данных нейронная сеть не требует повторной настройки параметров и может применяться для автоматизированного решения экспертных задач.

При этом факт применения такого программного обеспечения должен быть отражен в заключении эксперта. В частности, во вводной части заключения при описании использованных средств эксперту следует указать наименование и версию примененной программы. Кроме того, должно быть указано, что данная программа основывается на технологиях искусственного интеллекта. Процесс работы с таким программным обеспечением также должен быть описан в исследовательской и синтезирующей частях заключения эксперта.

Применяя программное обеспечение, основанное на технологиях искусственного интеллекта, необходимо учитывать, что любая нейронная сеть имеет определенный уровень доверия и может быть подвержена ошибкам первого и второго рода, которые не всегда удастся распознать. Поэтому, разрабатывая программное обеспечение в этой области следует руководствоваться алгоритмами, позволяющими понять механизм принятия решений, которые ложатся в основу доказывания в дальнейшем.

Основанное на технологиях искусственного интеллекта программное обеспечение не является универсальным средством решения экспертных задач, а выступает как вспомогательный инструмент и должно

² Бахтеев Д.В. Концептуальные основы теории криминалистического мышления и использования систем искусственного интеллекта в расследовании преступлений: дисс. ... доктора юридических наук. Екатеринбург, 2022. 504 с. (С. 321).

³ Там же, с. 322.

использоваться в совокупности с другими методами и средствами производства экспертизы.

Заключение

Технологии искусственного интеллекта имеют большой потенциал для решения широкого спектра задач судебной экспертизы, в частности, судебной почерковедческой и технико-криминалистической экспертиз документов. Правильно построенная и обученная модель нейронной сети позволит также упростить процедуру проверки подписей и иных рукописных записей в различных документах, увеличить скорость ее проведения, повысить достоверность результатов. Такая проверка может проводиться не только сотрудниками правоохранительных органов, но также и работниками других организаций и учреждений, не связанных напрямую с деятельностью по обеспечению правопорядка и общественной безопасности. Например, специалистами банков, работниками музеев, образовательных организаций при сопоставлении подписей и рукописных записей в разных документах, установлении содержания (прочтения) ру-

кописных текстов, фрагменты букв и цифр которых частично искажены либо не дописаны.

Для разработки соответствующего программного обеспечения, которое может быть внедрено в экспертную практику и в последующем использовано для автоматизированного решения задач судебной экспертизы, необходим синтез знаний специалистов в области искусственного интеллекта и специальных знаний экспертов, так как именно эксперт понимает ту предметную область, в которой планируется применить те или иные технологии искусственного интеллекта, и может оказать продуктивное содействие в создании тестовых и обучающих наборов данных и последующей оценке результатов обучения нейронной сети. Также важно понимать, что основанное на технологиях искусственного интеллекта программное обеспечение не является универсальным инструментом решения экспертных задач и должно использоваться в совокупности с другими методами и средствами производства экспертизы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / Пер. с англ. А.И. Осипова. М.: ДМК Пресс, 2011. 312 с.
2. Бессонов А.А. Искусственный интеллект и математическая статистика в криминалистическом изучении преступлений: монография. М.: Проспект, 2021. 816 с.
3. Бахтеев Д.В. Искусственный интеллект в следственной деятельности: задачи и проблемы // Российский следователь. 2020. № 9. С. 3–9. <https://doi.org/10.18572/1812-3783-2020-9-3-6>
4. Бессонов А.А. Использование алгоритмов искусственного интеллекта в криминалистическом изучении преступной деятельности (на примере серийных преступлений) // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина. 2021. № 2 (78). С. 45–53. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2021.78.2.045-053>
5. Earl B.H. Artificial intelligence. New York: Academic Press, 1975. 559 p.
6. Бахтеев Д.В. Искусственный интеллект в криминалистике: состояние и перспективы использования // Российское право: образование, практика, наука. 2018. № 2 (104). С. 43–49.
7. Бахтеев Д.В. Компьютерное зрение и распознавание образов в криминалистике // Российское право: образование, практика, наука. 2019. № 3 (111). С. 66–74. <https://doi.org/10.34076/2410-2709-2019-3-66-74>

REFERENCES

1. Jones M.T. *AI Application Programming*. Charles River Media, 2005. 496 p.
2. Bessonov A.A. *Artificial Intelligence and Mathematical Statistics in the Forensic Study of Crimes: Monograph*. Moscow: Prospekt, 2021. 816 p. (In Russ.).
3. Bakhteev D.V. Artificial Intelligence in Investigative Activities: Tasks and Problems. *Russian Investigator*. 2020. No. 9. P. 3–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.18572/1812-3783-2020-9-3-6>
4. Bessonov A.A. The Use of Artificial Intelligence Algorithms in the Criminalistic Study of Criminal Activity (on the Example of Serial Crimes). *Courier of Kutafin Moscow State Law University*. 2021. No. 2 (78). P. 45–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2021.78.2.045-053>
5. Earl B.H. *Artificial Intelligence*. New York: Academic Press, 1975. 559 p.
6. Bakhteev D.V. Artificial Intelligence in Criminalistics: State and Prospects of Use. *Russian Law: Education, Practice, Researches*. 2018. No. 2 (104). P. 43–49. (In Russ.).
7. Bakhteev D.V. Computer Vision and Pattern Recognition in Criminalistics. *Russian Law: Education, Practice, Researches*. 2019. No. 3 (111). P. 66–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.34076/2410-2709-2019-3-66-74>

8. Николенько С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018. 480 с.
9. Buduma N., Lacascio N. *Fundamentals of Deep Learning: Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms*. O'Reilly Media, 2017. 298 p.
10. Lake B.M., Salakhutdinov R., Tenenbaum J.B. Human-Level Concept Learning through Probabilistic Program Induction // *Science*. 2015. Vol. 350. Iss: 6266. P. 1332–1338. <https://doi.org/10.1126/science.aab3050>
11. Fjodor Van Veen. The Neural Network Zoo // The Asimov Institute. 14.09.2016. <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>
12. Rosenblatt F. The Perceptron: a Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain // *Psychological Review*. 1958. Vol. 65. No. 6. P. 386–408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>
13. Elman J.L. Finding Structure in Time // *Cognitive Science*. 1990. Vol. 14. No. 2. P. 179–211. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1402_1
14. Lecun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition // *Proceedings of the IEEE*. 1998. Vol. 86. No. 11. P. 2278–2324. <https://doi.org/10.1109/5.726791>
15. Дикий Д.И., Артемьева В.Д. Исследование применимости искусственных нейронных сетей для верификации пользователей по динамике почерка // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 4. С. 677–684. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-4-677-684>
16. Chollet F., Allaire J.J. *Deep Learning with R*. Manning Publications, 2018. 360 p.
8. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E. *Deep Learning*. Saint-Petersburg: Piter, 2018. 480 p. (In Russ.).
9. Buduma N., Lacascio N. *Fundamentals of Deep Learning: Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms*. O'Reilly Media, 2017. 298 p.
10. Lake B.M., Salakhutdinov R., Tenenbaum J.B. Human-Level Concept Learning through Probabilistic Program Induction. *Science*. 2015. Vol. 350. Iss. 6266. P. 1332–1338. <https://doi.org/10.1126/science.aab3050>
11. Fjodor Van Veen. The Neural Network Zoo. *The Asimov Institute*. 14.09.2016. <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>
12. Rosenblatt F. The Perceptron: a Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. *Psychological Review*. 1958. Vol. 65. No. 6. P. 386–408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>
13. Elman J.L. Finding Structure in Time. *Cognitive Science*. 1990. Vol. 14. No. 2. P. 179–211. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1402_1
14. Lecun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. *Proceedings of the IEEE*. 1998. Vol. 86. No. 11. P. 2278–2324. <https://doi.org/10.1109/5.726791>
15. Dikiy D.I., Artem'eva V.D. Research of Artificial Neural Network Applicability for User's Online Handwritten Signature Verification. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2017. Vol. 17. No. 4. P. 677–684. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-4-677-684>
16. Chollet F., Allaire J.J. *Deep Learning with R*. Manning Publications, 2018. 360 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Купин Алексей Фёдорович – к. юр. н., инспектор управления научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательского института криминалистики) Главного управления криминалистики (Криминалистического центра) Следственного комитета Российской Федерации, доцент кафедры «Безопасность в цифровом мире» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; e-mail: alexcrim@rambler.ru

Коваленко Анна Сергеевна – ассистент кафедры «Безопасность в цифровом мире» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; e-mail: annekovalenko@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Kupin Alexey Fedorovich – Candidate of Law, Inspector of the Research Directorate (Research Institute of Criminalistics) of the Chief Criminalistic Directorate (Criminalistic Center) of the Investigative Committee of the Russian Federation, Associate Professor of the Department of Security in the Digital World of the Bauman Moscow State Technical University; e-mail: alexcrim@rambler.ru

Kovalenko Anna Sergeevna – Assistant of the Department of Security in the Digital World of the Bauman Moscow State Technical University; e-mail: annekovalenko@mail.ru

Статья поступила: 15.09.2023
После доработки: 10.10.2023
Принята к печати: 30.10.2023

Received: September 15, 2023
Revised: October 10, 2023
Accepted: October 30, 2023