

Д. В. Бахтеев

Уральский государственный юридический университет
(Екатеринбург)

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ В КРИМИНАЛИСТИКЕ*

В статье рассматривается компьютерное зрение как современная технология автоматической обработки графических образов, исследуется соотношение терминов «компьютерное зрение» и «машинное зрение». Описывается история развития данной технологии, которое было бы невозможным без совершенствования как вычислительной техники, так и программных средств. Компьютеризация криминалистической деятельности сводится к трем направлениям: ускорению, упрощению и повышению эффективности процессов обработки информации. Приводится схема типовой системы компьютерного зрения, рассматривается возможность использования систем на базе искусственных нейронных сетей для анализа образов.

Анализируются современное состояние прикладных систем компьютерного зрения и возможности его применения в целях решения задач уголовного судопроизводства. В качестве основных направлений применения компьютерного зрения в указанной области названы идентификация личности человека по признакам его внешности как при оперативном отождествлении личности, так и в ходе габитоскопических, фото- и видеотехнических экспертиз; количественная оценка объектов на изображении (например, при подсчете участников массовых мероприятий); при предварительном и экспертном исследовании документов и их реквизитов; в целях оптимизации функционирования систем уголовной регистрации. Приводятся критерии и технические условия отбора образцов подписей для формирования базы данных для обучения нейронной сети, анализируется технология разработки искусственной нейронной сети для распознавания признаков подлога подписей, включающая три этапа: создание базы данных для обучения, корректировку весов и приоритетов при обучении, проверку качества обучения сети.

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное зрение, распознавание образов, распознавание подписей, подлог подписей, искусственные нейронные сети

DOI: 10.34076/2410-2709-2019-3-66-74

Развитие информационных технологий не только способствует общему техническому прогрессу, но и неизбежно приводит к трансформации отдельных направлений человеческой деятельности, напрямую с такими технологиями не связанных. Развитие Интернета, других способов коммуникации, возможностей систем фото- и видеозаписи привело к экспоненциальному росту генерируемых человечеством данных. Системы

быстрого перемещения, хранения и анализа больших объемов информации стали привычным компонентом современной жизни. Уголовное судопроизводство, в том числе его технико-криминалистическое обеспечение, не может остаться в стороне от высоких технологий. Без глубокого понимания сущности некоторых таких технологий их применение вряд ли будет эффективным. В настоящей статье предпринимается попытка проанализировать сущность такой современной технологии, как компьютерное зрение, его исторических и методологических основ, а также направлений и возможностей применения при решении задач уголовного судопроизводства.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-16001/18 «Комплексное исследование правовых, криминалистических и этических аспектов, связанных с разработкой и функционированием систем искусственного интеллекта».

Большинство современных прикладных юридических исследований, связанных с компьютерными технологиями, ориентированы на преобразование цифровых объектов в аналоговую форму, например описание электронной переписки в протоколе следственного действия. Однако возможности автоматизации и информатизации часто ставят перед субъектами правоприменительной деятельности обратную задачу: на первоначальных стадиях развития таких процессов требуется преобразование объектов материальной действительности в цифровую форму в целях их обработки программно-аппаратными средствами. Такая оцифровка может носить сугубо технический характер (к примеру, сканирование документа для упрощения его пересылки или распространения) либо быть интеллектуальной. В последнем случае оцифрованный объект уже может быть исследован компьютерной системой.

Компьютерное зрение – это отрасль компьютерных технологий, в которой разрабатываются научные основы распознавания объектов и создаются прикладные системы, способные обнаруживать и распознавать объекты по аналогии со зрительным восприятием реальности человеком. Основными их задачами в данном случае являются обнаружение на конкретном цифровом изображении или видеозаписи конкретного объекта или подтверждение его отсутствия, выявление характерных признаков, а также подсчет или количественная оценка однородных объектов.

Компьютерное зрение часто называют машинным, однако между ними имеются различия. Компьютерное зрение относится к области компьютерных наук, включает в себя разработку и совершенствование методологических и научных основ распознавания объектов [Булатников, Гоева 2015: 86–87]. Машинное зрение, в свою очередь, ориентировано на решение исключительно практических задач, создание для этого аппаратных и программных средств. Таким образом, машинное зрение является частью инженерного знания и областью прикладного программирования [Дятлов 2013: 32]. Соответственно для целей настоящего исследования более корректным является термин «компьютерное зрение», так как в рамках компьютерных

наук оценивается возможность применения той или иной технологии в практической (в данном случае – криминалистической) деятельности.

Представляется, что развитие любой инновационной технологии, в особенности цифровой, обусловлено двумя группами факторов: внутренними – степенью научной разработанности соответствующей темы, возможностями аппаратного и программного обеспечения, и внешними – наличием потребностей во внедрении такой технологии в практику. В криминалистической деятельности можно выделить три общих направления компьютеризации:

- ускорение процессов;
- упрощение (автоматизация) процессов;
- повышение эффективности процессов.

Рассматриваемая в данной работе технология компьютерного зрения относится ко всем трем направлениям: ее использование способно «разгрузить руки» исполнителя-человека, при этом вполне возможно увеличение как качества распознавания различных образов, так и скорости поиска в больших массивах данных.

История развития анализируемой технологии берет начало в 1950-х гг., когда профессор Массачусетского технологического института Оливер Селфридж в статье «Глаза и уши для компьютера» выдвинул идею полезности оснащения компьютерной техники средствами распознавания графических и звуковых образов [David Jr., Selfridge 1962]. В данной работе были предложены основы распознавания графических и звуковых образов с помощью их компьютерной обработки. При этом вероятность ошибки распознавания оценивалась в интервале от 0,5 до 25 %, что в целом коррелирует с коэффициентом полезного действия человека при распознавании изображений.

В 1970–1990-е гг. формировались теоретические основы этой области компьютерных наук. В большинстве случаев обработка изображения осуществлялась путем деления его на квадраты, каждый из которых сначала оценивался в отдельности и затем присоединялся к итоговому изображению. Этот процесс называется сегментацией. Другим способом распознавания образов являлся растровый метод, заключающийся в виртуальном нанесении точек по контуру и основ-

ным внутренним элементам распознаваемого объекта с последующим сопоставлением координат данных точек на идентифицируемом и идентифицирующем объектах.

Впоследствии к указанным методам добавилась возможность трехмерного моделирования. Так, для экспертных исследований баллистических объектов и бумажных документов оказалась полезной технология трехмерного рельефного развертывания изображения, полученного с микроскопа. Это позволяет, в частности, анализировать и измерять рельеф штрихов рукописного текста с точностью до нескольких микрометров. Однако данная операция требует вмешательства человека, т. е. конечная обработка и интерпретация информации осуществляются вручную, поэтому полностью отнести описанные методы к области компьютерного зрения нельзя. Огромное количество вариантов изображения, возникающих в зависимости, к примеру, от яркости освещения при съемке, оттенков красителя и бумаги, использованных шрифтов, и другие факторы затрудняли автоматизированное распознавание объектов. Возможности использования компьютерного зрения напрямую зависели от возможностей аппаратной части компьютерной техники: для обработки больших по размеру изображений требуется неоднократно отсмотреть каждую его точку (пиксель), для чего необходимо совершение сотен тысяч и миллионов вычислительных операций в секунду. На первых порах внедрения данной технологии трудности возникали даже с распознаванием штрих-кодов и почтовых кодов на конвертах.

Развитие указанной технологии обеспечили:

появление цифровых микросхем со структурой CMOS¹;

создание «умных» видеокамер, в том числе с возможностью автофокуса;

улучшение инфракрасных камер;

появление высокоскоростных интерфейсов;

развитие программного обеспечения, в том числе систем искусственного интеллекта.

¹ CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor* – комплементарная структура металл-оксид-полупроводник) – технология энергоэффективных интегральных микросхем, которые используются практически во всех современных образцах компьютерной техники.

К настоящему времени обработка визуально воспринимаемой информации осуществляется на трех уровнях:

1) на информационном уровне определяется цель восприятия (вычисления) и формируется задание в целом;

2) на программном уровне происходят обработка входящей информации и преобразование ее в исходящую (требуемую) информацию;

3) на аппаратном уровне происходит воплощение системы компьютерного зрения [Март 1982: 24–26].

Принципиальная схема типовой системы компьютерного зрения включает в себя следующие компоненты:

камера (или сканирующее устройство);

осветительные приборы, предназначенные для устранения шумов изображения, вызванных тенями и неоднородностью падения света на распознаваемый объект;

интерфейс «камера – компьютер»;

компьютер, на котором происходит автоматическая обработка полученного изображения [Steger, Ulrich, Wiedemann 2018: 2].

Однако исключительно аппаратных средств для полноценного функционирования компьютерного зрения недостаточно. Как указывалось ранее, необходимо также наличие программного обеспечения, способного оперативно и эффективно обрабатывать большое количество изображений. В XXI в. с развитием вычислительных возможностей компьютерной техники была реанимирована разрабатывавшаяся в 1940–1980-х гг. технология искусственных нейронных сетей, которые как раз и ориентированы на работу со значительными объемами информации – большими данными. Они могут быть неструктурированными и структурированными.

Неструктурированные данные, как правило, могут использоваться в оперативно-розыскной и следственной деятельности. К ним относятся:

видеопоток, формируемый камерами наблюдения, видеорегистраторами и пр.;

поток мультимедийной (видео, звук, текст) информации, передаваемой и обрабатываемой операторами сотовой связи и интернет-провайдерами [Мещеряков, Хорунжий 2018].

Особенностью таких данных с точки зрения криминалистики является то, что их

сбор ведется безотносительно интересов и целей правоохранительных органов. Однако при необходимости эти данные могут быть использованы для анализа поведения как отдельного человека, так и больших групп людей, отслеживания перемещений наблюдаемого или разыскиваемого преступника, определения характера и степени вовлечения в преступления конкретного члена преступной группы и т. д.

Сбор структурированных данных подчинен заранее установленной цели и производится по определенным критериям. Примером данных могут служить объекты автоматизированных учетов: так, для АДИС «Папилон» это папиллярные узоры пальцев рук, для системы «Поток» – номера автомобилей. Обработка данных может осуществляться как с частичной автоматизацией, так и без участия оператора.

Использование технологии компьютерного зрения при обработке больших данных стало возможным благодаря системам искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей. Последние можно рассматривать как «программные или аппаратные комплексы простых обработчиков данных, способных обмениваться друг с другом сигналами и при достаточно развитой структуре и настроенной логике взаимодействия решать сложные задачи. Специфику искусственных нейронных сетей, отличающую их от обычных программ, составляют простота каждого индивидуального элемента сети (искусственного нейрона), их взаимозаменяемость и взаимосвязь. Каждый кластер информации, загружаемый в сеть, сопоставляется с другими кластерами, и на основе этого сопоставления генерируется решение поставленной задачи. Рабочая искусственная сеть может содержать десятки и сотни слоев (уровней оценки и проверки), обеспечивающих комплексное рассмотрение любых необходимых факторов, что позволяет решать крайне сложные задачи, к числу которых относятся и задачи уголовного судопроизводства» [Бахтеев 2016: 5].

Распознавание визуальных (графических) образов человеком (работа зрения) построено не только на механическом восприятии глазами как органом зрения электромагнитного излучения, но и на работе головного мозга. Без своеобразной «базы» образов,

хранящихся в памяти человека, зрительное восприятие по-прежнему работало бы, однако узнавать и распознавать объекты стало бы нельзя. Возможность узнавания обеспечивается накоплением в памяти значительного опыта. Новорожденный, впервые открыв глаза, уже воспринимает миллионы отдельных образов, активирующих в числе прочего зоны головного мозга, отвечающие

Использование технологии компьютерного зрения при обработке больших данных стало возможным благодаря системам искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей

за память. Соответственно, увидев определенный объект, человек сравнивает его с образами, хранящимися в памяти, и при совпадении достаточного количества признаков узнает (опознает) этот объект.

Аналогичным образом осуществляется обучение систем компьютерного зрения на архитектуре искусственных нейронных сетей. Однако если зрение человека основано на восприятии красного, зеленого и синего участков светового излучения, компьютерное зрение не обязательно обрабатывает цветовую характеристику, но может функционировать и бинарно, т. е. определять, контрастна отдельная точка (пиксель) изображения или нет.

В рамках рассматриваемой технологии искусственная нейронная сеть может быть ориентирована на распознавание на основе большого количества однотипных изображений отдельных объектов или выделение их признаков автоматически, без вмешательства человека. При настройке такой системы взаимодействие с человеком происходит преимущественно на начальном этапе ее построения: при установлении приоритетов (весов) – наиболее значимых характеристик изучаемых объектов. Например, при распознавании почерка угол наклона линий по отношению к другим линиям может быть более значительным, чем его длина или ширина. После этого разработка (обучение) сети осуществляется автономно, однако возможность настройки, разумеется, сохраняется. Если система весов установ-

лена правильно, то решения, принимаемые искусственной нейронной сетью, могут превосходить по точности решения, принимаемые человеком. Так, способность человека распознавать подлог подписи в официальном документе напрямую зависит от его опыта и специальной подготовки и качества самой подделки, а вероятность выявления, согласно нашему исследованию, в среднем не превышает 69 %.

Компьютерное зрение уже продемонстрировало свою полезность. Оно нашло применение в следующих областях:

- охранные системы наблюдения;
- автономные транспортные средства;
- сельское хозяйство (используется, в том числе, для анализа заболеваний растений);
- дополненная реальность (AR);
- робототехника;
- биометрия, в том числе набирающая популярность биометрическая регистрация;
- распознавание символов, в том числе в машинном переводе;
- инспекция промышленных товаров. В частности, на базе искусственных нейронных сетей осуществляется распознавание признаков подделки брендовой продукции;
- анализ жестикуляции и иных невербальных средств коммуникации людей;
- геология, к примеру прогнозирование землетрясений;
- восстановление поврежденных изображений;
- медицина, в основном при проведении томографии головного мозга человека;
- экология (при анализе распространения загрязнений)¹.

Для решения задач уголовного судопроизводства компьютерное зрение может быть использовано:

- 1) в целях идентификации личности человека по его изображению (к примеру, при портретной, фото- или видеотехнической экспертизе, при оперативном установлении личности с помощью камер внутреннего и наружного наблюдения) [Andalo, Goldenstein 2013];
- 2) при исследовании обстановки места происшествия;

¹ The British Machine Vision Association and Society for Pattern Recognition. What is Computer Vision? // URL: <http://www.bmva.org/visionoverview> (дата обращения: 02.04.2019).

3) для качественно-количественного анализа количества и поведения лиц в местах массового пребывания людей;

4) при исследовании документов – как традиционных, так и фото- и видеозаписей;

5) при организации уголовных учетов.

Основные технические методы в такой деятельности сводятся к трем группам:

методы обнаружения границ объектов (точек уточнения перспективы) [Ibid], т. е. фотограмметрические методы²;

трехмерная реконструкция объектов и ситуаций. Помимо уже упомянутого исследования рукописных текстов следует указать на возможности исследования следов ног, следов крови (например, при определении положения нападавшего и локализации удара в ситуации отсутствия трупа на месте происшествия), обстановки дорожно-транспортных происшествий, криминальных взрывов и пр.;

методы квадратичного программирования, при котором осуществляется перестановка частей изображения до тех пор, пока система компьютерного зрения не установит его соответствие с уже известным изображением.

Одним из наиболее востребованных направлений применения данной технологии является распознавание почерка, а в контексте криминалистических исследований – распознавание признаков подлога подписи или почерка. При этом «система обучается на основе базы подлинных подписей большой группы людей» [Hafemann, Sabourin, Soares De Oliveira 2016] Исследования такого рода проводились с применением как классических технологий компьютерного зрения, так и методов машинного обучения и систем искусственного интеллекта [Bailing 2010; Hafemann, Sabourin, Soares De Oliveira 2017]. Рассмотрим концепцию работы системы компьютерного зрения на основе искусственной нейронной сети, ориентированной на выявление признаков подлога подписи. Ее разработка в настоящее время ведется на кафедре криминалистики

² Фотограмметрия – определение формы, размеров, границ и других геометрических характеристик объектов по их изображениям. В криминалистике входит в структуру измерительных методов судебной фотографии.

Уральского государственного юридического университета.

Первый этап – сбор образцов для обучения сети. В нашем примере ими выступают оцифрованные экспериментальные образцы подписей и их подложные копии, написанные от руки без применения методов технической подделки. Важным требованием является однородность обрабатываемых объектов.

В качестве примера для обучения на настоящем этапе используется база, включающая 21 тыс. индивидуальных подлинных подписей, на каждую из которых приходится от одной до четырех индивидуальных подложных подписей. Каждому исполнителю соответствует не менее 56 подписей, выполненных на двух бланках формата А4. Такое количество обусловлено высокой вариативностью подписей и их зависимостью, в частности, от степени усталости руки. Поэтому для обучения искусственной нейронной сети требуется установление возможного нормального отклонения штрихов у исполнителя подлинной подписи. Основным признаком подлога будет нарушение такого отклонения. Разрешение цифрового изображения – не менее 300 DPI (точек на дюйм). Использование единого бланка при отборе образцов подписей и одинакового разрешения при их оцифровке позволяет также сопоставлять геометрические параметры подписи (размеры по ширине и высоте (пропорции), угол наклона относительно вертикального и горизонтального срезов листа бумаги). В целях исследования каждая подпись представляется в виде цифрового графического объекта как набора координат, соответствующих отдельным точкам и линиям в подписи.

На втором этапе осуществляется подбор параметров (корректировка весов), по которым сравниваются объекты при обучении искусственной нейронной сети. В качестве таких параметров в рассматриваемом примере используются отдельные общие и частные признаки почерка, в том числе углы наклона линий относительно друг друга, длина штрихов по горизонтали и вертикали и т. д. Для каждой подписи устанавливаются степень устойчивости и возможное нормальное отклонение, при превышении которого подпись можно считать подложной.

На третьем и последнем этапе сеть обучается, и проверяется ее функциональность.

Системе предъявляется пара образцов подписей, одна из которых всегда является оригинальной, а вторая может быть как оригинальной, так и подложной. В данном случае свойство подписи (подлинность или подложность) системе заранее известно. Эта операция повторяется несколько сотен тысяч раз. В результате, если начальные параметры были установлены правильно, система компьютерного зрения изучает вариационные особенности подписей, сделанных одним человеком, и различия между подлинной и подложной подписью. На этом этапе могут возникать ошибки из-за неправильности определенных весов для обучения или ошибок в элементах обрабатываемых данных. Такие ошибки могут быть:

1) ложноположительными (выявление признаков подлога при его фактическом отсутствии). Ошибки этого типа не так критичны, если система искусственного интеллекта служит средством предэкспертной проверки, тогда специалист или эксперт всегда смогут выявить ошибку;

2) ложноотрицательные ошибки (неспособность сети обнаружить признаки подлога при их фактическом наличии). Подобная ошибка является критической, так как система искусственного интеллекта фокусируется на предварительной проверке подписей, поэтому оператор не получит сообщения о признаках подлога и не сможет его проверить.

Наконец, проверка результатов обучения проводится путем предоставления сети двух образцов подписей, один из которых является подлинным, а подлинность второго требуется проверить. К настоящему времени обучение искусственной нейронной сети продолжается. Для создания полноценной системы предэкспертного анализа подписей с целью выявления признаков подлога требуются сбор большего количества образцов и корректировка весов для увеличения итоговой эффективности работы системы.

Представляется, что хотя системы на основе искусственных нейронных сетей по сути не являются алгоритмизированными (в силу отсутствия заранее заданной последовательности шагов), они могут выступить важным вспомогательным инструментом в деятельности субъекта уголовного судопроизводства.

производства. Основоположник судебного почерковедения Е. Ф. Буринский писал, что исследование почерка только тогда перестанет быть субъективным, когда в процессе исследования будут производиться различные измерения с помощью инструментов, специально разработанных для этих целей [Винберг, Шванкова 1977: 24].

Однако любые подобные инструменты, ориентированные на использование в раскрытии и расследовании преступлений, должны быть надлежащим образом апробированы и закреплены в уголовно-процессуальном законодательстве.

Технологии компьютерного зрения и искусственных нейронных сетей за счет возможности использования их в разнообразных областях и ситуациях являются универсальным инструментарием, а потому обладают

по-настоящему мощным потенциалом. Это утверждение справедливо и по отношению к оценке диапазона применения данных технологий в криминалистике. К сожалению, до глубокой их интеграции в правоприменительную практику необходимо пройти долгий путь, включающий как совершенствование самих технологий, так и их правовую, в первую очередь процессуальную, оценку. В будущем, возможно не столь далеком, это позволит повысить скорость, качество и эффективность процессов обработки криминалистически значимой информации, не вовлекать ценные человеческие ресурсы в решение рутинных задач. В интересах общества и государства своевременно постигать передовые технологии, потеря времени на раннем этапе их внедрения может привести к большим упущениям в будущем.

Список литературы

Andalo F. A., Goldenstein S. Computer Vision Methods Applicable to Forensic Science // Workshop of Theses and Dissertations in SIBGRAPI 2013 (XXVI Conference on Graphics, Patterns and Images). URL: <http://www.ucsp.edu.pe/sibgrapi2013/eproceedings/wtd/114569.pdf> (дата обращения: 09.04.2019).

Bailing Z. Off-Line Signature Verification and Identification by Pyramid Histogram of Oriented Gradients // International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics. 2010. Issue 3 (4). P. 611–630. DOI: 10.1108/17563781011094197.

David E. E. Jr., Selfridge O. G. Eyes and Ears for Computers // Proceedings of the IRE. 1962. Vol. 50. Issue 5. P. 1093–1101. DOI: 10.1109/JRPROC.1962.288011.

Hafemann L. G., Sabourin R., Soares De Oliveira L. E. Analyzing Features Learned for Offline Signature Verification Using Deep CNNs // 23rd International Conference on Pattern Recognition. 2016. P. 2989–2994. DOI: 10.1109/ICPR.2016.7900092.

Hafemann L. G., Sabourin R., Soares De Oliveira L. E. Offline Handwritten Signature Verification – Literature Review // 2017 Seventh International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA). 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1507.07909.pdf> (дата обращения: 13.04.2019). DOI: 10.1109/IPTA.2017.8310112.

Marr D. Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. N. Y.: W. H. Freeman and Company, 1982. 397 p.

Steger C., Ulrich M., Wiedemann C. Machine Vision Algorithms and Applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2018. 516 p.

Бахтеев Д. В. О сущности и перспективах использования искусственных нейронных сетей в раскрытии и расследовании преступлений // Вопросы российской юстиции. 2016. № 3. С. 4–6.

Булатников Е. В., Гоева А. А. Сравнение библиотек компьютерного зрения для применения в приложении, использующем технологию распознавания плоских изображений // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. 2015. № 6. С. 85–91.

Винберг Л. А., Шванкова М. В. Почерковедческая экспертиза. Волгоград: б. и., 1977. 174 с.

Дятлов Е. И. Машинное зрение (аналитический обзор) // Математические машины и системы. 2013. № 2. С. 32–40.

Мещеряков В. А., Хорунжий С. Н. Влияние концепции «больших данных» на криминалистическую теорию причинности // Причинность в криминалистике: сб. науч.-практ. ст. / под общ. ред. И. М. Комарова. М.: Юрлитинформ, 2018. С. 164–168.

Дмитрий Валерьевич Бахтеев – кандидат юридических наук, доцент кафедры криминалистики Уральского государственного юридического университета. 620137, Российская Федерация, Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 21. E-mail: crim.usla@bk.ru.

Computer Vision and Pattern Recognition in Forensic Science

The article discusses computer vision as a modern technology of automatic processing of graphic images, analyzes the relations between the terms «computer vision» and «machine vision». History of development of this technology is described, it occurred because of improvements in both computer technology and software. The computerization of forensic activities boils down to three areas: speeding up, simplifying, and improving the efficiency of information processing. A schema of a typical computer vision system is given, the possibility of using systems based on artificial neural networks for image analysis is considered.

The current state of computer vision application systems and the possibility of its application in order to solve the problems of criminal justice are analyzed. The main areas of application of computer vision in forensic activities are identification of a person on the basis of his appearance, both during operational identification of a person and portrait examinations, photo and video examinations; quantitative assessment of objects in the image (for example, in case of calculating mass events' participants); at preliminary and expert research of documents and their requisites; in functioning of criminal registration systems. Criteria and technical conditions for sampling signatures for creation of a training dataset for a neural network are given, the basics of developing an artificial neural network recognizing signs of signatures' forgery is analyzed, which include three steps: creating a training dataset, adjusting weights and training priorities, testing the quality of network training.

Keywords: computer vision, machine vision, pattern recognition, signature recognition, forgery of signatures, artificial neural network

References

Andalo F. A., Goldenstein S. Computer Vision Methods Applicable to Forensic Science, *Workshop of Theses and Dissertations in SIBGRAPI 2013 (XXVI Conference on Graphics, Patterns and Images)*, 2013, available at: <http://www.ucsp.edu.pe/sibgrapi2013/eproceedings/wtd/114569.pdf> (accessed: 09.04.2019).

Bailing Z. Off-Line Signature Verification and Identification by Pyramid Histogram of Oriented Gradients, *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*, 2010, issue 3, pp. 611–630, DOI: 10.1108/17563781011094197.

Bakhteev D. V. *O sushchnosti i perspektivakh ispol'zovaniya iskusstvennykh neironnykh setei v raskrytii i rassledovanii prestuplenii* [On the Essence and Prospects of the Use of Artificial Neural Networks in the Crimes' Disclosure and Investigation], *Voprosy rossiiskoi yustitsii*, 2016, no. 3, pp. 4–6.

Bulnikov E. V., Goeva A. A. *Sravnienie bibliotek komp'yuternogo zreniya dlya primeneniya v prilozhenii, ispol'zuyushchem tekhnologiyu raspoznavaniya ploskikh izobrazhenii* [Comparing Computer Vision Libraries for Using in Application that Uses the Recognition Technology of Flat Images], *Vestnik MGUP imeni Ivana Fyodorova*, 2015, no. 6, pp. 85–91.

David E. E. Jr., Selfridge O. G. Eyes and Ears for Computers, *Proceedings of the IRE*, 1962, vol. 50, issue 5, pp. 1093–1101, DOI: 10.1109/JRPROC.1962.288011.

Dyatlov E. I. *Mashinnoe zrenie (analiticheskii obzor)* [Machine Vision (Analytical Review)], *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 2013, no. 2, pp. 32–40.

Hafemann L. G., Sabourin R., Soares De Oliveira L. E. Analyzing Features Learned for Offline Signature Verification Using Deep CNNs, *23rd International Conference on Pattern Recognition*, 2016, pp. 2989–2994, DOI: 10.1109/ICPR.2016.7900092.

Hafemann L. G., Sabourin R., Soares De Oliveira L. E. Offline Handwritten Signature Verification – Literature Review, *2017 Seventh International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA)*, 2017, available at: <https://arxiv.org/pdf/1507.07909.pdf> (accessed: 13.04.2019), DOI: 10.1109/IPTA.2017.8310112.

Marr D. *Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, New York, W. H. Freeman and Company, 1982, 397 p.

Meshcheryakov V. A., Horunzhii S. N. *Vliyanie kontseptsii «bol'shikh dannykh» na kriminalisticheskuyu teoriyu prichinnosti* [The Influence of the Concept of «Big Data» on the Forensic Theory of Causation], Komarov I. M. (ed) *Prichinnost' v kriminalistike* [Causality in Forensics]: collection of articles, Moscow, Yurlitinform, 2018, pp. 164–168.

Steger C., Ulrich M., Wiedemann C. *Machine Vision Algorithms and Applications*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2018, 516 p.

Vinberg L. A., Shvankova M. V. *Pocherkovedcheskaya ekspertiza* [Handwriting Examination], Volgograd, 1977, 174 p.

Dmitrii Bakhteev – candidate of juridical sciences, associate professor of the Department of criminalistics, Ural State Law University. 620137, Russian Federation, Yekaterinburg, Komsomol'skaya str., 21. E-mail: crim.usla@bk.ru.

Дата поступления в редакцию / Received: 15.04.2019

Дата принятия решения об опубликовании / Accepted: 13.05.2019