

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ ОРУЖИЯ ПО СЛЕДАМ НА СТРЕЛЯННЫХ
ГИЛЬЗАХ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента магистратуры 2 курса 2293 группы
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,
профиль «Криминалистическое материаловедение»
института физики

Крашенинникова Артема Михайловича

Научный руководитель,
доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Федоренко

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2024

Введение. В сфере судебной баллистики одним из ключевых аспектов является определение модели оружия по следам на стреляной гильзе. Этот процесс основан на сопоставлении следов, оставленных на исследуемых и экспериментальных гильзах, и требует высокой точности и внимательности. Автоматизация данного процесса представляет собой значимый шаг, направленный на снижение вероятности человеческих ошибок. Важно отметить, что хотя автоматизация не гарантирует полного исключения ошибок, она значительно увеличивает скорость выполнения задачи специалистом. Таким образом, осознание конечных целей становятся необходимым для эффективного применения автоматизированных методов в данной области.

Актуальность данной работы заключается в технической поддержке расследования преступлений, связанных с применением огнестрельного оружия.

Целью данной работы является оценка эффективности применения сверточной нейронной сети в качестве автоматического классификатора модели оружия по изображениям донных частей стреляных гильз.

Задачей является исследование различных факторов, влияющих на формирование следов на донных частях стреляных гильз, а также оптимизация гиперпараметров нейронной сети для ее применения в качестве классификатора модели оружия по изображениям донных частей стреляных гильз.

Новизна заключается в изучении влияния лакового покрытия капсюля на отражаемость неоднородностей микрорельефа поверхности бойка в его следах. Показана возможность разработки автоматического классификатора моделей оружия на основе свёрточной нейронной сети, обученной на изображениях донных частей гильз.

Положения, выносимые на защиту.

- Апробирован прототип классификатора моделей оружия на основе свёрточной нейронной сети.

- Точность определения модели оружия классификатором, обученным по выборке, включающей 7 наиболее распространённых моделей оружия с их модификациями, составила 72,73%.

Материалами исследования являлись гильзы и изображения донных частей гильз, полученные с помощью системы IBIS BrassTrax. Были получены изображения донных частей гильз, стрелянных в 9мм самозарядных пистолетах семи категорий с разными классовыми характеристиками. Штатным боеприпасом к ним является патрон Parabellum 9x19 мм.

Пистолеты калибра 9 мм под патрон 9x19 мм отобранных категорий:

- 1) Полуавтоматические пистолеты Beretta.
- 2) Полуавтоматические пистолеты CZ.
- 3) Полуавтоматические пистолеты Browning FN.
- 4) Полуавтоматические пистолеты Glock всех моделей до 4-го поколения, кроме модели 42, с эллиптическим отверстием ударника.
- 5) Полуавтоматические пистолеты Glock всех моделей 5-го поколения, включая модель 42, с эллиптическим отверстием ударника.
- 6) Полуавтоматические пистолеты Smith & Wesson.
- 7) Полуавтоматические пистолеты Star, включая модели B, BS, B Supper и исключая более новые модели Star M28 и Star M30.

Выпускная квалификационная работа занимает 58 страниц, имеет 34 рисунка и 6 таблиц.

Обзор составлен по 21 информационному источнику.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой исследование различных факторов, влияющих на формирование следа бойка и затрудняющих определение модели оружия.

Во втором разделе работы рассматривается структура свёрточной нейронной сети и настройка ее гиперпараметров.

В третьем разделе описан процесс формирования обучающих и тестовых выборок, а также метод аугментации исходных изображений. Представлены результаты проведённых расчётов.

Основное содержание работы

Определение модели оружия по следам на стреляной гильзе является одной из задач судебной баллистики. Эта задача решается путем сопоставления следов на исследуемой гильзе и экспериментальной гильзе или путем сравнения со справочными данными. Автоматизация данного процесса может помочь снизить вероятность ошибок, допускаемых человеком. Необходимо учитывать, что это не гарантирует полного исключения ошибок, но способствует повышению скорости выполнения задачи со стороны специалиста. Поэтому очень важно осознавать, какие именно цели преследуются. Для лучшего понимания сначала рассмотрим традиционную криминалистическую методику определения модели оружия по следам на гильзах.

Перед экспертом ставится задача определения модели оружия, применявшегося на месте преступления по следам на стреляных гильзах. Для её решения требуется установить комплекс групповых признаков оружия, из которого произведены выстрелы и провести сравнение с соответствующими справочными данными по различным моделям оружия. Групповые признаки огнестрельного оружия – это совокупность признаков характерных для определённой модели оружия. Обычно перед экспертом ставятся следующие вопросы:

- 1) Частью какого патрона является представленная на исследование гильза?
- 2) Имеются ли на гильзе следы, позволяющие выявить конкретную модель оружия, из которой был произведен выстрел?
- 3) Из оружия какой модели был произведен выстрел?

Сначала определяется тип патрона, к которому относится гильза. Это позволит определить модели оружия, к которым он штатный и, соответственно,

сократить область поиска модели оружия. При определении модели оружия по следам на стреляных гильзах важны размерные и угловые характеристики следов, которые отражают взаимодействие гильзы с деталями оружия. В процессе стрельбы формируются следы от самого выстрела и процесса извлечения гильзы. Следы на гильзе после выстрела образуются от бойка и контактирующих с ней поверхностей патронника и затвора. Особенно важен след бойка, который формируется в момент контакта бойка с капсюлем на гильзе. Следы от патронника, патронного упора, ствольной коробки и других деталей оружия также информируют о модели оружия. Следы эжекции на гильзе возникают при извлечении ее из патронника и включают отметины от зацепа выбрасывателя, отражателя и других деталей, с которыми контактирует гильза в процессе извлечения. Затем путём сравнения линейных и угловых характеристик следов со справочными материалами определяется модель оружия. Однако не всегда удается определить единственную модель, в которой могла быть стреляна исследуемая гильза. В качестве примера рассмотрим следы на гильзах 9mm патрона Парабеллум стрелянных в пистолетах модели Glock 17 и Glock 19.

В справочной литературе для пистолета Glock 17 описан следующий комплекс следов на стреляных гильзах:

- След бойка: прямоугольная вмятина (0,8×1,4 мм) с полусферическим дном и «язычком» в верхней части.
- След выступа отражателя: на дне гильзы у края капсюльного гнезда. Слева внизу относительно следа бойка.
- Следы зацепа выбрасывателя: на кольцевой проточке и внутренней стороне фланца. Справа относительно следа бойка.
- Угол между следами от выступа отражателя и зацепа выбрасывателя: 255-265°.
- Следы переднего среза затвора: отпечаток отверстия для бойка в виде вздутия металла прямоугольной формы на капсюле. Размер 1,4×3,0 мм.

Следы обработки патронного упора на дне и капсюле в виде прямых вертикальных линий.

- Следы на корпусе гильзы: отпечаток от окна затвора (на расстоянии 3,0-5,0 мм от среза дульца гильзы), след в виде «метелки» у среза дульца гильзы от правого загиба магазина, продольные царапины от загибов магазина.

На рисунке 1 представлены изображения донных частей гильз, стреляных в пистолетах Glock 17 и Glock 19. Видно, что сложность в определении модели оружия по следам на гильзах, стрелянных в пистолетах модели Glock 17 и Glock 19 заключается в том, что обе эти модели имеют схожие характеристики и отличия могут быть незначительными или неоднозначными. Обе модели имеют множество общих черт, включая форму и размер гильзы. Аналогичная проблема наблюдается и для других моделей, например, для пистолета Макарова и пистолета Стечкина.



Рисунок 1 – Дно гильз, стреляных в: а – пистолете Glock 17; б – пистолете Glock 19

Проведенные исследования показали, что вариативность следов бойков и следов отражателя на стреляных гильзах зависит от следующих факторов.

1. Механических свойств металла, который используется при изготовлении гильзы и колпачка капсюля. Если металл упругий, то при выстреле следы бойка могут быть менее выраженными, чем на капсюле, изготовленном из более мягкого металла. В случае изготовления капсюля из пластичного металла, следы бойков становятся более выраженными. Однако свойства материалов патрона не оказывают существенного влияния на вариативность групповых признаков в следах на донной части стреляных гильз.

2. При наличии покрытия на поверхности капсюля в виде лаковой пленки, следы бойка могут быть менее выраженными. Влияние лака преимущественно проявляется в сглаживании индивидуальных признаков в следе бойка, сохраняя при этом макрохарактеристики, т.е. групповые характеристики следов.

3. Показано, что наибольшее влияние на характер отображения следов оказывает протекание процесса выстрела, которое зависит от срабатывания капсюльного состава, скорости сгорания порохового заряда, максимального давления пороховых газов и т.д. В качестве примера на рисунке 2 представлены изображения двух следов одного бойка на гильзах патронов одного производителя. Видно, что сами следы, и групповые признаки в них, имеют существенные отличия.

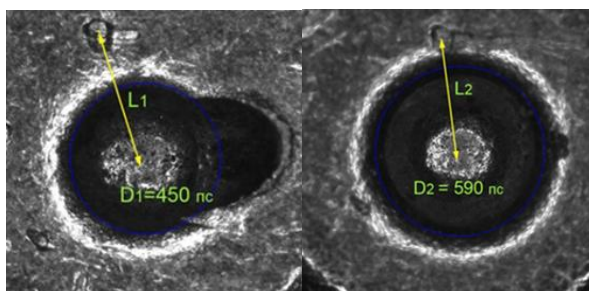


Рисунок 2 – Следы одного бойка на капсюлях одного производителя

Таким образом, определение модели оружия по следам на гильзах относится к ряду сложных задач, требующих от эксперта глубоких знаний в области судебной баллистики и трасологии, а также опыта работы с огнестрельным оружием и следами его применения. При этом даже при тщательном изучении следов на гильзе не всегда возможно с абсолютной точностью определить модель оружия. В некоторых случаях можно лишь сузить круг возможных вариантов с указанием вероятностного перечня моделей [1, 2].

Применение методов машинного обучения (МО) для определения модели оружия представляет собой перспективный подход, направленный на нивелирование сложностей, возникающих при решении данной задачи. Благодаря машинному обучению извлечение интересующих эксперта признаков становится быстрым и более точным. Так же автоматизируются

трудоемкие задачи, такие как сопоставление следов на исследуемой гильзе с комплексами следов в справочной литературе, освобождая время специалистов для более сложных исследований.

Преимущества методов машинного обучения включают способность к обучению на больших массивах данных, что позволяет выявлять закономерности, недоступные для человека. Сверточные нейронные сети самостоятельно извлекают признаки из исследуемых изображений и далее сравнивают их с признаками моделей оружия. Нейронные сети могут эффективно обобщать обучающие данные, особенно при использовании сложных архитектур и наличии значительных объемов данных. Поэтому в качестве прототипа определителя модели оружия была выбрана сверточная нейронная сеть (СНС).

В качестве прототипа определителя модели оружия была выбрана сверточная нейронная сеть, состоящая из 6 сверточных слоев, 1 полносвязного слоя, за которым следует функция (слой) softmax и классифицирующий слой (рисунок 3). Функция Softmax переводит наборы чисел на выходе полносвязного слоя в вероятности. Для ускорения обучения между каждым сверточным слоем и соответствующей функцией активации ReLu вставлен слой пакетной нормализации batchNormalizationLayer. За каждой функцией активации следует слой MaxPooling. Алгоритм реализован на основе программы, представленной в библиотеке MathWorks [3].

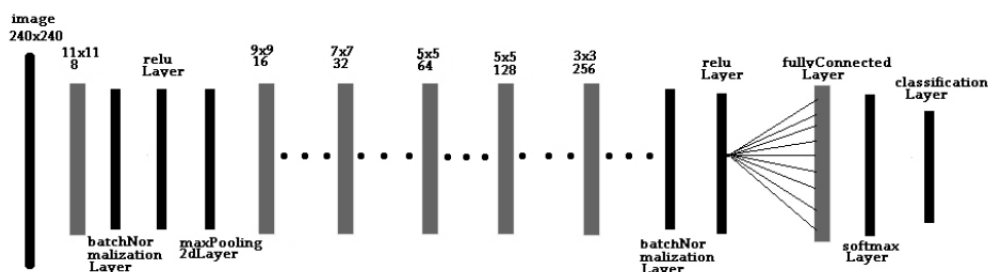


Рисунок 3 – Архитектура выбранной сверточной сети

В процессе обучения нейронной сети были оптимизированы такие ее гиперпараметры, как: скорость обучения равна 0.002; коэффициент

регуляризации равен 0.0002; момент равен 0.8; число объектов в пакете равно 128. Остальные параметры брались по умолчанию [4-5].

Изображения обучающей и тестовой выборки были получены с помощью IBIS BrassTrax (баллистический сканер канадского производства), который сканирует донные части стреляных гильз с помощью конфокального микроскопа. Полученные изображения имели разрешение 2496x2496 пикселей, что намного превышало необходимое для обучения нейронной сети. Поэтому все изображения были изменены до размерности в 300x300 пикселей. Изменение размера проведено с помощью специально разработанной для этого программы.

Всего было отсканировано 620 исходных изображений: 94 для Beretta, 90 для CZ, 102 для FN, 96 для Glock с эллиптическим отверстием ударника, 58 для Glock с эллиптическим отверстием под ударник, 78 для Smith & Wesson и 102 для Star. Различия в количестве изображений в категориях обусловлено разным числом экземпляров пистолетов, в свое время, поступивших на исследование в баллистическую лабораторию полиции. В среднем из каждого экземпляра было отстреляно по одиннадцать-двенадцать патронов. Для увеличения объема обучающей выборки была проведена аугментация исходных изображений донных частей стреляных гильз, а именно: поворот исходных изображений с определенными шагами: ± 5 , ± 10 , ± 15 , ± 20 градусов. Исходная выборка изображений следов бойков состояла из 7 классов (Beretta, Glock1 (Glock 1-4 поколения), Glock2 (Glock 5-го поколения), Smith & Wesson, CZ, FN (Browning), Star).

Обучение нейронной сети показало, что она может использоваться в качестве автоматического определителя модели оружия, проводящего классификацию по изображениям донных частей стреляных гильз с точностью порядка 72,7%. При этом имеются потенциальные возможности повышения точности классификации, например, за счет применения ансамбля обученных нейронных сетей, а также за счет расширения номенклатуры обучающей выборки.

Внедрение в экспертную практику после доработки таких автоматизированных систем определения модели оружия по изображениям донных частей стреляных гильз, позволит повысить точность и объективность определения модели оружия, сократить время на проведение экспертизы и, в конечном итоге, будет способствовать повышению эффективности раскрытия преступлений, связанных с применением огнестрельного оружия.

Заключение. В результате проделанной работы были сформированы следующие выводы:

1. Наличие лакового покрытия на донной части гильзы приводит к сглаживанию мелких неоднородностей в следах бойков, но не приводит значимому изменению групповых признаков.

2. Основной вклад в вариативность следов бойков вносят особенности протекания самого выстрела, а не различия в материалах разных производителей патронов.

3. Сверточная нейронная сеть может быть использована в качестве автоматического определителя модели оружия по изображениям донных частей стреляных гильз.

4. Для повышения точности классификации с помощью сверточных нейронных сетей необходимо увеличить число объектов в обучающей выборке, а также применить ансамбль обученных сверточных нейронных сетей.

Список использованных источников

1 Рашид, Т. Создаем нейронную сеть / Т. Рашид. – СПб.: Издательство «Альфа-книга», 2017. – 272 с.

2 Бирюков, В. В. Криминалистическое оружиеведение : учеб. пособие для бакалавриата, специалитета и магистратуры / В. В. Бирюков, А. А. Беляков – СПб. : Издательство Юрайт, 2018. – 222 с.

3 trainNetwork [Электронный ресурс] // MathWorks [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainnetwork.html> (дата обращения: 27.03.2024). – Загл. с экрана. – Яз. англ.

4 Оптимизация гиперпараметров нейронной сети и снижение вычислительных затрат [Электронный ресурс] // КиберЛенинка – научная электронная библиотека [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-giperparametrov-neyronnoy-seti-i-snizhenie-vychislitelnyh-zatrat> (дата обращения: 24.03.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5 Исследование эффективности архитектур свёрточных нейронных сетей в решении задачи классификации при малой обучающей выборке [Электронный ресурс] // eLIBRARY – научная электронная библиотека [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54117344> (дата обращения: 24.03.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус.