

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

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ФОРМИРОВАНИЕ АУГМЕНТИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ
СЛЕДОВ БОЙКОВ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОВЕРХНОСТИ КАПСЮЛЕЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНОЙ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

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

Демченко Виталия Валерьевича

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 2023

Введение. Исследование микрорельефа следов бойков является актуальной задачей, связанной с оперативным выявлением связи между местом преступления и конкретным экземпляром оружия. Большое негативное влияние на сравнение следов бойков и оценку их схожести оказывают различные неоднородности и шероховатости поверхности, еще не инициированных капсюлей. Факторы, такие как сила удара бойка, жесткость колпачка капсюля, давление пороховых газов и др. влияют на сглаживание неоднородностей поверхности капсюлей в следах бойков. Исследование отображения таких неоднородностей в статических следах бойков [1] может помочь в определении причин расхождений признаков в следах, образованных одним бойком. Исходя из этих данных, можно разработать принципы прогнозирования вариативности, которые позволят формировать клоновые изображения следов бойков с измененными в допустимых пределах индивидуальными признаками для формирования аугментированной обучающей выборки, которую можно будет использовать для обучения сверточной нейронной сети [2]. Принцип ее работы, как и сама сверточная нейронная сеть, будет рассмотрена в данной работе.

Целью работы являлось изучение вариативности отображения признаков микрорельефа поверхности бойков в их следах на стреляных капсюлях, создание аугментированной обучающей выборки с помощью клоновых изображений и разработка архитектуры сверточной нейронной сети для классификации оружия по изображению следа бойка.

В соответствии с поставленной целью можно выделить следующие задачи данной работы:

1. Провести классификацию следов бойков по типу доминирующих признаков.
2. Сформировать критерии наиболее вероятной вариативности индивидуализирующих признаков в следах бойков.
3. Произвести аугментацию обучающей выборки.
4. Разработать сверточную нейронную сеть для классификации огнестрельного оружия по изображению следа бойка.

5. Оценить точность многогрупповой классификации с помощью, обученной сверточной нейронной сети.

Научная новизна работы заключается в разработке методики классификации изображений следов бойков по экземплярам оружия с помощью сверточной нейронной сети, обученной по аугментированной выборке, каждый класс которой включает не более 5 исходных изображений следов бойков.

Положения, выносимые на защиту:

1. Определено, что границы индивидуализирующих признаков с высоким значением градиента (резким изменением яркости) на разных следах одного бойка изменяются в малых пределах. Границы признаков с плавно изменяющейся яркостью могут изменяться в пределах 5-7% от их линейных размеров.

2. Аугментированная обучающая выборка, каждый класс которой сформирован на основе исходных 4-5 изображений следов одного бойка с учетом их возможной вариативности признаков, позволяет эффективно обучить сверточную нейронную сеть для многогрупповой классификации.

Дипломная работа занимает 51 страницу, имеет 40 рисунков и 19 формул. Обзор составлен по 20 информационным источникам.

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

Первый раздел представляет собой анализ научно-технической литературы на тему вариативности отображения признаков микрорельефа поверхности бойков в их следах на стреляных капсюлях и описание экспериментального исследования вариативности индивидуализирующих признаков в следах бойков в зависимости от механических свойств поверхности капсюля.

Во втором разделе работы проведен анализ математических и информационных методов сравнения изображений следов бойков.

В третьем разделе производится формирование аугментированной обучающей выборки путем клонирования исходных изображений, определяется

оптимальная архитектура сверточной нейронной сети и выполняется обучение сверточной нейронной сети по базе данных, включающей в себя 44 класса.

Основное содержание работы

Для проведения эксперимента по исследованию вариативности индивидуализирующих признаков в следах бойков в зависимости от механических свойств капсюля, было взято две никелевые пластины с толщиной 10 микрон и металлическая пластина с толщиной 20 микрон. Предварительно был произведен обжиг одной из никелевых пластин, с последующим охлаждением в 10% растворе серной кислоты. Данная процедура необходима для повышения пластичности металла. Отожженная пластина была разделена на две части, на одну из которых был нанесен слой лака.

Для нанесения следов бойков, был взят ударно-спусковой механизм ружья ТОЗ-34. В ходе эксперимента по каждой пластине наносились удары бойком с ярко выраженными особенностями микрорельефа. Для большей наглядности проведенного эксперимента было выбрано по 6 следов бойков для каждой пластины.

Предварительно, перед сканированием следов бойков, лаковое покрытие с помощью ватной палочки, пропитанной ацетоном, удалялось. Каждый след был вырезан и приклеен к дну гильзы для сканирования в автоматизированной баллистической идентификационной системе “POISC”.

В ходе эксперимента были получены отсканированные следы бойков для каждой пластины (рисунок 1).

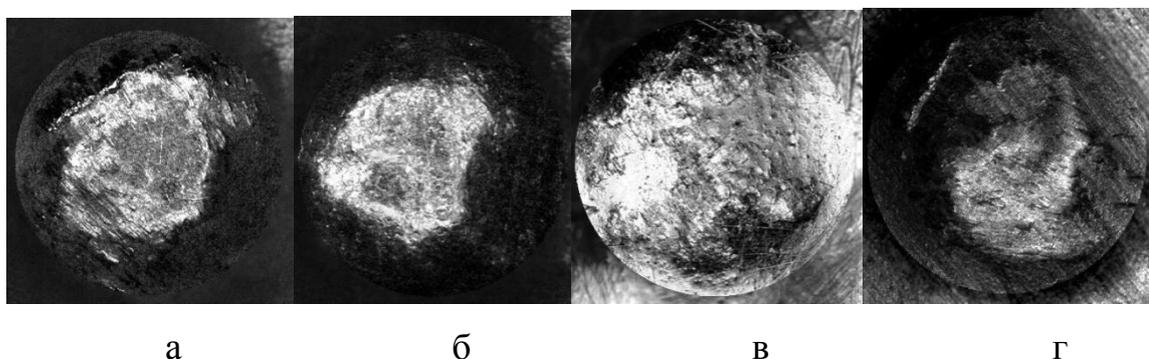


Рисунок 1 – Следы бойков: а) на отожженной пластине; б) на отожженной пластине с покрытием; в) на жесткой пластине; г) на упругой пластине

Наиболее ярко, признаки выражаются при малой жесткости металла капсюля и отсутствии покрытия. При наличии покрытия отображаемые признаки имеют свойство “сглаживаться”, что усложняет процесс их идентификации. В свою очередь при увеличении жесткости металла капсюля, отображаемые признаки деформируются, либо отпечатываются не полностью. При увеличении упругости металла совпадающие признаки отображаются, но рельеф следа бойка искажается.

При увеличении упругости металла совпадающие признаки четко отображаются, но рельеф следа бойка имеет свойство в небольшой степени искажаться. При малой жесткости металла капсюля и отсутствии покрытия вариативность границ признаков составляет 5-7%. Данный диапазон и будет считаться допустимым значением при создании клоновых изображений следов бойков для формирования обучающей выборки.

К основным методам сравнения следов бойков можно отнести:

1. Криминалистическая методика сравнения следов бойков [3] (Визуальное сравнение следов бойков)
2. Корреляционный метод оценки схожести следов бойков [4].
3. Метод корреляционных ячеек [4].
4. Метод конгруэнтно совпадающих ячеек [5].
5. Прогнозируемая вариативность признаков [6].
6. Метод сравнения индивидуальных признаков с помощью контурного анализа [6].
7. Метод К-ближайших соседей [7].

Общим недостатком всех перечисленных методов является необходимость сравнения исследуемого изображения со всеми изображениями базы данных следов бойков. Данная проблема может быть решена за счет применения метода сравнения изображений с помощью нейронных сетей, например, полносвязанных или сверточных.

Для создания и настройки сверточной нейронной сети было сформировано две выборки изображений следов бойков. Каждое изображение

имело разрешение 240x240 пикселей. Исходные выборки изображений следов бойков состояли из 20 и 24 классов соответственно. В первой выборке преобладали следы с явными характерными признаками пистолета Макарова, а именно: с признаками в форме окружностей и пятен неопределенной формы. Во второй выборке преобладали следы с слабовыраженными признаками, характерными для автомата Калашникова, калибра 5.45 мм.

Изначально, в каждом классе было от 5 до 8 изображений следов бойков. Для увеличения числа объектов обучающих выборок, была проведена аугментация исходных изображений, а именно: искажение неоднородностей с погрешностью выявленной в ходе эксперимента и поворот изображений с определенными шагами: $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 15^\circ$ и $\pm 20^\circ$. В итоге из каждого исходного изображения было получено еще по 8 клоновых изображений.

Для решения задачи классификации изображений следов бойков, была взята программа для сверточной нейронной сети в среде MATLAB, представленная в свободном доступе компании Mathworks.

Для определения оптимального числа сверточных слоев и количества фильтров в них, было составлено две короткие обучающие выборки, включающие в себя по 15 и 16 классов соответственно. Далее на этих выборках обучалась сверточная нейронная сеть с разным количеством слоев. Экспериментальным путем было определено, что для максимально эффективного обучения сверточной нейронной сети для классификации изображений следов бойков со следами характерными для пистолета Макарова, максимально эффективным является следующее количество фильтров в сверточных слоях: в первом сверточном слое – 8, во втором слое – 16, в третьем – 32, в четвертом слое – 64, в пятом – 128 и в шестом слое – 256. В итоге, в структуру данной нейронной сети входит входной слой, на который подается изображение 240x240 пикселей, чередующиеся слои свертки вместе со слоями подвыборки по максимальному значению (max-pooling), слоем batchNormalization, который необходим для ускорения обучения и уменьшения чувствительности к сетевой инициализации и функцией активации ReLU на

конце. После слоев свертки и подвыборки следует слой с полносвязной нейронной сетью с функцией Softmax на конце.

Структура данной сверточной нейронной сети продемонстрирована на рисунке 2.

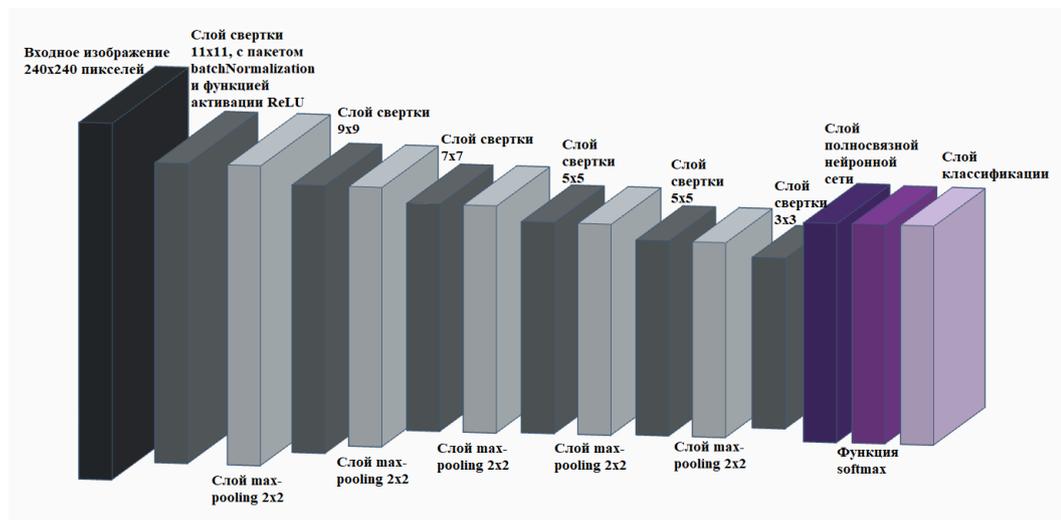


Рисунок 2 – Схематичное изображение примененной сверточной нейронной сети

Для обучения сверточной нейронной сети изначально из базы данных с признаками, характерными для пистолета Макарова, были взяты 3 объекта каждого класса для обучающей выборки и по 2-3 объекта из каждого класса для тестовой выборки. При этом брались только исходные изображения следов бойков. Общее количество классов – 20. Всего сеть обучалась 15 эпох, скорость обучения – 0.001. Точность классификации для данной сети составила 93.44%.

Далее было проведено обучение, в котором было взято по 4 исходных объекта каждого класса из обеих баз данных, и обучающая выборка включала в себя повернутые изначально изображения следов бойков с определенными шагами: $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 15^\circ$ и $\pm 20^\circ$. Всего сеть обучалась 15 эпох, по четыре итерации в каждой эпохе, скорость обучения – 0.001. Точность классификации для базы данных в которой преобладали следы с характерными признаками для пистолета Макарова, существенно повысилась и составила 97%. Точность классификации для второй базы данных составила 92%.

Далее была сформирована выборка, которая включала себя исходные изображения следов бойков из обеих баз данных (Всего 44 класса). В обучающей выборке было взято по 4 исходных объекта и их клонированные изображения, всего 36 изображений в каждом классе. Результаты ее обучения и матрица путаницы продемонстрированы на рисунках 3 и 4 соответственно.



Рисунок 3 – Результат обучения сверточной нейронной сети

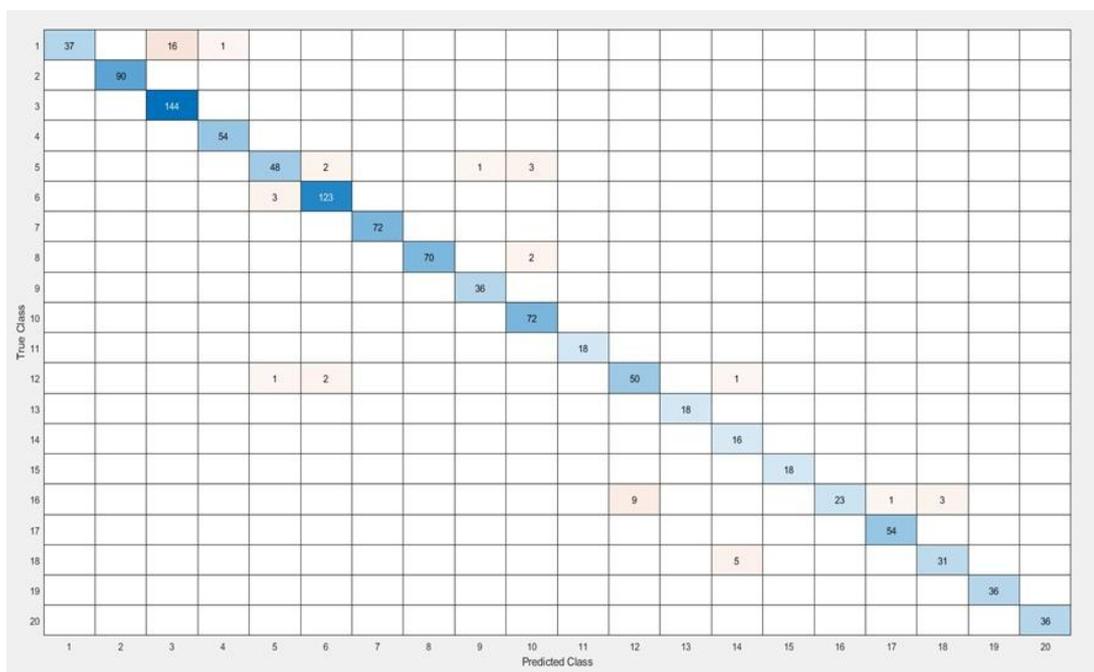


Рисунок 4 – Матрица путаницы при классификации по выборке, включающей 20 классов

Из результатов обучения видно, что точность классификации такой сети составила 93%.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что сверточная нейронная сеть может быть успешно обучена на базе данных с малым количеством исходных изображений, благодаря аугментации исходной выборки. Данная нейронная сеть может быть использована для работы с базами данных, включающих в себя несколько десятков классов, что однозначно может быть использовано для автоматизации работы эксперта.

Заключение.

1. Проведен обзор научно-технической литературы и анализ методов сравнения изображений следов бойков и принципов работы нейронных сетей.

2. Проведено экспериментальное исследование вариативности индивидуализирующих признаков в следах бойков в зависимости от механических свойств поверхности капсюля.

3. Показано, что при прогнозировании вариативности следов бойков, наиболее важную роль играет упругость металла капсюля и наличие на нем покрытия.

4. Была проведена аугментация исходных изображений для формирования обучающей выборки

5. Была сформирована архитектура сверточной нейронной сети, проведено ее обучение на аугментированной обучающей выборке, точность прогнозирования нейросети составила 93% для выборки, включающей 44 класса.

Список использованных источников

1 Федоренко, В. А. Влияние неоднородностей поверхности капсюлей на вариативность статических следов бойков / В. А. Федоренко, С. Н. Гвоздков, Е. Е. Грабовец // Изв. Саратов. Ун-та. Нов.сер. Сер. Экономика. Управление. Право. – Саратов : Б. и., 2018. – Т. 18, Вып. 2.– С. 202-207.

2 Голиков, И. Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество [Электронный ресурс] / И. Голиков // Хабр [Электронный ресурс] : [сайт] – URL:

<https://habr.com/ru/post/348000/> (дата обращения: 17.03.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3 Типовые экспертные методики исследования вещественных доказательств. Ч. I / под ред. канд. техн. наук Ю. М. Дильдина ; общая редакция канд. техн. наук В. В. Мартынова. – М. : ЭКЦ МВД России, 2010. – 568 с.

4 Сорокина, К. О. Оценка схожести изображений следов патронного упора методом корреляционных ячеек / К. О. Сорокина, В. А. Федоренко, П. В. Гиверц. – Саратов : Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук, 2019. – С. 3-15.

5 Song, J. Proposed “Congruent Matching Cells (CMC)” Method for Ballistic Identification and Error Rate Estimation / J. Song. – Gaithersburg : AFTE Journal, 2015. – 192 p.

6 Федоренко, В. А. Оценка схожести следов бойков огнестрельного оружия по их цифровым изображениям / В.А. Федоренко, М.В. Корнилов. – Саратов : Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук, 2015. – С. 181-186.

7 Федоренко, В. А. Анализ следов на выстреленных пулях методами конгруэнтно совпадающих сегментов профилей и k-ближайших соседей / В. А. Федоренко, К. О. Сорокина, П. В. Гиверц // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2021. – Вып. 1. – С. 70-82.