

## Формирование цифрового паспорта огнестрельного повреждения методами компьютерного зрения

И. Г. ПАЛЬЧИКОВА\*, И. А. БУДАЕВА, Е. С. СМИРНОВ

Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, 630058, Новосибирск, Россия

\*Контактный автор: Пальчикова Ирина Георгиевна, e-mail: [palchikova@gmail.com](mailto:palchikova@gmail.com)

Поступила 10 марта 2023 г., доработана 27 июня 2023 г., принята в печать 04 июля 2023 г.

Разработано программное обеспечение ImgOpinion, которое позволяет выполнять оптико-структурный анализ цифрового изображения объекта методами компьютерного зрения. Оно предназначено для использования в экспертных лабораториях в составе аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit, который включает специализированный осветитель “Фотобокс 3138” с цифровой регистрирующей камерой. Выходные данные строятся в виде цифрового паспорта огнестрельного повреждения, в котором приводятся криминалистически значимые характеристики объекта исследования, а также выявленных на нем следов выстрела.

**Ключевые слова:** следы огнестрельного повреждения, обработка цифрового изображения, паспорт повреждения.

**Цитирование:** Пальчикова И.Г., Будаева И.А., Смирнов Е.С. Формирование цифрового паспорта огнестрельного повреждения методами компьютерного зрения. Вычислительные технологии.2024; 29(1):93–106. DOI:10.25743/ICT.2024.29.1.009.

### Введение

В ходе судебно-баллистической экспертизы существенное значение имеет решение задачи реконструкции обстановки и обстоятельств происшествия, в частности выявление и характеристизация следов выстрела на объектах (мишениях). В результате выстрела при встрече снаряда с преградой появляются различные следы выстрела [1]. Условия происшествия, такие как дистанция и направление выстрела, вид примененного огнестрельного оружия и снаряда и проч. [2], определяют основные закономерности образования огнестрельного повреждения. То есть исследование и анализ характеристик следов выстрела могут быть основой для установления как самого факта произведения выстрела, так и других обстоятельств происшествия.

Экспертно-криминалистический учет стрелкового огнестрельного оружия, его следов на пульях и гильзах выполняется с помощью специализированных автоматизированных идентификационных баллистических систем, таких как “Таис”, “Поиск”, “Папилон” и др. Однако обнаружение на мишениях основных и дополнительных следов выстрела [3] и определение их морфометрических характеристик обычно производятся экспертами посредством визуального осмотра места происшествия и непосредственного измерения выявленных следов или с использованием технических средств, созданных для криминалистического исследования документов, например электронно-оптического преобразователя “Рельеф-2” или видеоспектрального компаратора Docucenter Nirvis

Projectina [4]. Их технические характеристики не обеспечивают потребностей экспертных исследований следов выстрелов, в частности колориметрических расчетов получаемых цифровых изображений. Некоторые подходы, позволяющие установить количественные показатели обнаруженных следов выстрела, основываются на разрушающих методах исследования [3, 5], что не допускает их широкого использования, потому что при проведении экспертизы приоритет отдается тем методам, использование которых не приводит к уничтожению либо существенному изменению объекта [6]. Этим условиям удовлетворяют методы и алгоритмы компьютерного зрения, которые широко применяются для определения морфометрических характеристик объектов в различных областях науки и техники [7]. Задача создания специализированного аппаратно-программного комплекса для криминалистической экспертизы, применение которого частично автоматизирует процессы выявления и количественной характеристикации следов и продуктов выстрела, а также основывается на неразрушающих методах исследования, является актуальной.

Компьютерное зрение включает два основных этапа: регистрация цифрового изображения и его математическая обработка. Аппаратно-программный комплекс компьютерного зрения обычно состоит из осветителя, цифровой регистрирующей видеосистемы и специализированной программы обработки исходных данных.

Для регистрации цифрового изображения нами разработан и создан прибор “Фотобокс 3138” [8, 9]. Автономный и портативный прибор имеет мобильную конструкцию и обеспечивает белый свет с цветовой температурой 5000 К (CIE D50) и индекс цветопередачи CRI = 97+. Шесть независимо включаемых светодиодных монохромных осветителей с узкими спектральными полосами в диапазоне от 365 до 880 нм (от ультрафиолетового до инфракрасного диапазонов излучения) дают равномерную освещенность без посторонних паразитных засветок на рабочем поле (падение освещенности на краях рабочего поля менее 2 %).

Настоящая работа посвящена разработке программного обеспечения ImgOpinion (ПО ImgOpinion), позволяющего выполнить анализ цифрового изображения объекта (мишени) методами компьютерного зрения и построить выходные данные в виде цифрового паспорта огнестрельного повреждения, в котором приводятся криминалистически значимые характеристики объекта исследования, а также выявленных на нем следов выстрела. Следы выстрела подразделяются на основные и дополнительные [10].

Паспорт огнестрельного повреждения — это информационный ресурс, содержащий сведения о виде поступившего объекта со следами выстрела, характеристиках его поверхности, морфологии огнестрельного повреждения, топографии отложения дополнительных следов выстрела. В работе [11] предложено определение цифрового паспорта огнестрельного повреждения, сформулированы требования к его структуре, указаны основные характеристики, которые должны в нем содержаться.

Приложение ImgOpinion выявляет следы выстрела и вычисляет размеры, колориметрические показатели обнаруженных следов выстрела по цифровым изображениям объекта исследования. К уникальным характеристикам, рассчитываемым ImgOpinion, относится установление количества копоти выстрела и ее распределение на мишени, которое традиционно [5] определяется лишь путем разрушения мишени. В работе [12] обосновано, что распределение вещества в поперечном сечении газопороховой струи (и осажденное на объекте) связано с типом и видом огнестрельного оружия, а также с обстоятельствами его применения.

Ниже описаны детали реализации основных алгоритмов обработки изображения следов выстрела для их выявления и расчета характеристик и для формирования цифрового паспорта огнестрельного повреждения в соответствии с предложенным в работе [11] определением.

## 1. Описание программного обеспечения

Специализированное ПО (десктопное приложение ImgOpinion) написано на языке программирования Java и работает на системах семейств Linux и Windows. Системные требования приложения ImgOpinion под Windows такие же, как у Adobe Photoshop (Adobe System Incorporated [13]). Язык Java имеет удобные инструменты для разработки десктопных приложений и сам является кроссплатформенным языком программирования, что и определило его выбор. Для обработки изображений используется библиотека OpenCV [14], поскольку, во-первых, она обладает лучшей производительностью по сравнению с другими библиотеками с аналогичной функциональностью [15], во-вторых, имеется множество различных инструментов для использования OpenCV с другими технологиями, включая язык программирования Java, и, наконец, OpenCV является продуктом программирования с открытым исходным кодом и свободен для использования в соответствии с лицензией Apache 2 License [16]. Приложение может работать с изображениями, размер которых не превышает  $2^{30}$  пикселей, и поддерживает следующие форматы файлов изображений: Windows bitmaps (\*.bmp, \*.dib), JPEG files (\*.jpeg, \*.jpg, \*.jpe), Portable Network Graphics (\*.png), TIFF files (\*.tiff, \*.tif).

Последовательность действий, исполняемых приложением, представлена блок-схемой на рис. 1.

Приложение предоставляет интерфейс для ввода и редактирования данных об объекте исследования, о морфологии входного повреждения и основных следов выстрела, о топографии отложения копоти, колориметрических показателях и наличии зерен пороха и иных продуктов выстрела.

Входными данными приложения являются цифровое изображение объекта и сведения о дате поступления объекта, номере уголовного дела, типе объекта со следами выстрела, характеристиках его поверхности и материале основы и т. д., которые в интерактивном режиме вносятся оператором. Полный набор сведений, вводимых оператором и отображаемых затем в цифровом паспорте, дается в работе [11]. Предусматривается возможность задавать масштаб изображения и тем самым представлять выходные расчетные данные в реальном размере. При осмотре места происшествия и получении цифровых изображений огнестрельного повреждения в кадре также находится и изображение линейки для вычисления масштаба изображения. Приложение позволяет работать с изображением линейки для задания количества пикселей в 1 см.

Во всех окнах для работы с изображением линейки или мишени, а именно в окнах задания масштаба, выбора области интереса, поиска или задания зон отложения копоти, существует возможность обработать изображения для улучшения визуализации следов выстрела. Можно варьировать яркость, контрастность цвета, переводить в оттенки серого, приближать и поворачивать изображение. Указанные преобразования влияют только на выводимое в интерфейс приложения изображение, не влияя при этом на вычисления.

Следует отметить, что разрывы ткани и отложения копоти могут иметь различные вид и геометрическую форму. Поэтому далеко не всегда возможно полностью автома-

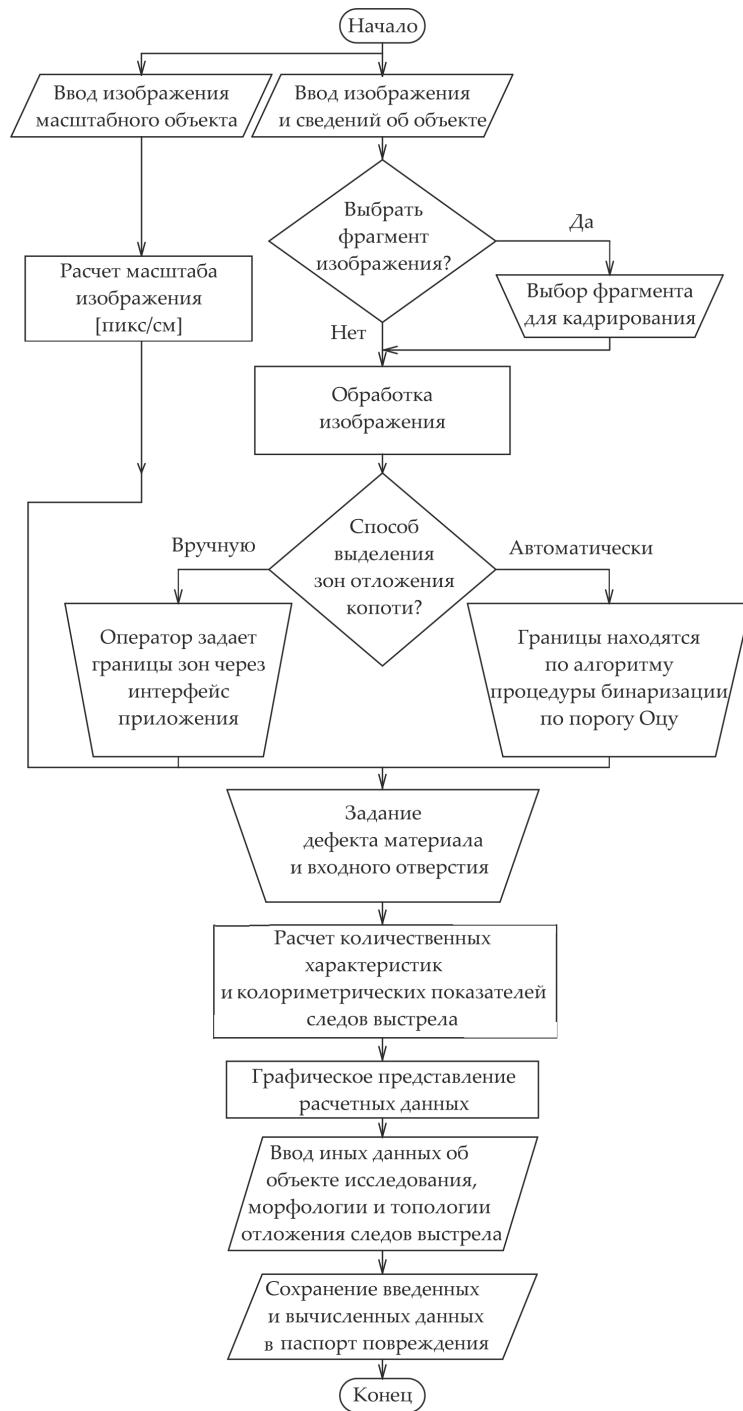


Рис. 1. Блок-схема рабочего процесса приложения ImgOpinion  
 Fig. 1. Diagram of the ImgOpinion application workflow

тизировать вычисления по обрабатываемому изображению. Параллельно с автоматизированной обработкой в ПО предусмотрена возможность использования интерактивной процедуры на усмотрение эксперта.

На следующем шаге выполнения программы выбирается область интереса, производится обработка этого фрагмента изображения с целью выявления характеристик основных и дополнительных следов выстрела на преграде [10]. Запускается алгоритм поиска зон отложения копоти или оператором вручную задаются зоны отложения копоти.

ти, входное отверстие и минус материала, вычисляются колориметрические показатели выделенных зон отложения копоти, строятся графики радиальной зависимости оптической плотности, вычисленные характеристики сохраняются в отдельном файле. Все вычисления выполняются по “сырым” данным.

Таким образом, принимаются во внимание все данные [10] об объекте: о материале преграды; механизме образования повреждения; морфологии входного отверстия, минуса материала, поиска обтирания; наличии центральной и периферийной зон отложения копоти и их форм, размеров и взаимного расположения; колориметрических показателях отложения копоти; топографии отложения иных продуктов выстрела.

Выходными данными ImgOpinion являются вычисленные характеристики изображения в цифровом и графическом виде и цифровой паспорт огнестрельного повреждения в виде файла, который может быть распечатан как документ или встроен в электронную базу данных.

## 2. Обнаружение и расчет зон отложения копоти

Копоть выстрела откладывается на объекте вокруг входного повреждения в виде области темно-серого цвета, часто близкой по форме к эллипсу [3]. Копоть в некоторых случаях разделяется [17] на центральную и периферийную зоны окопчения с большей и меньшей плотностью потемнения соответственно [6]. То есть алгоритм обнаружения зон отложения копоти предполагает поиск границ зон с определенной яркостью.

В основе алгоритма лежит процедура бинаризации по порогу Оцу [7]. На рис. 2 представлены результаты выполнения шагов процесса обработки изображения. На вход алгоритма подается исходное цифровое изображение (шаг 0), потенциально содержащее следы выстрела, а также параметры, заданные пользователем при помощи элементов графического интерфейса. На шагах 1 и 2 происходит предобработка изображения: перевод цвета в оттенки серого [7] и сглаживание фильтром Гаусса [7], который определяется размером ядра и значением дисперсии. Этот фильтр используется для удаления случайных шумов, потемнений и влияния рельефа материала преграды. Указанные

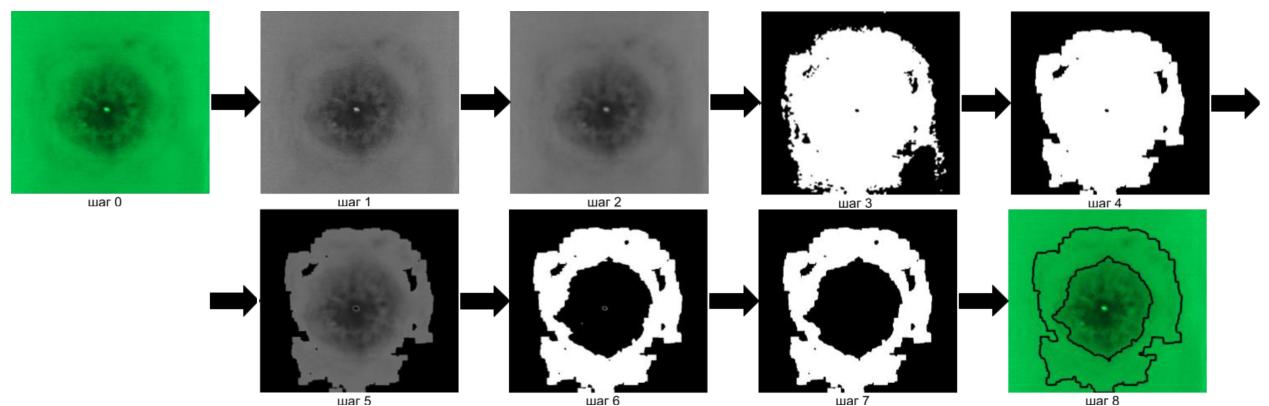


Рис. 2. Вид изображения мишени на различных шагах обработки изображения при выделении периферийной и центральной зон отложения копоти

Fig. 2. Target image at different image processing steps when the peripheral and central soot deposition zones are being identified

факторы непредсказуемы в каждом конкретном случае, поэтому ПО предусматривает возможность интерактивного задания пользователем значения дисперсии.

Затем производится поиск периферийной зоны окопчения. Сначала применяется метод Оцу для поиска порога бинаризации по гистограмме яркости изображения. По вычисленному порогу на шаге 3 производятся бинаризация и инверсия изображения [7]. Как дополнительная опция при необходимости на вход алгоритма поиска зон окопчения может быть передано и добавочное значение к порогу Оцу. Оно может принимать значения от  $-0.5V$  до  $+0.5V$ , где  $V$  — максимальное возможное значение яркости (в данном случае 255). Варьируя это добавочное значение, можно интерактивно менять порог бинаризации в этих пределах. На следующем шаге 4 к бинаризованному изображению применяется операция математической морфологии “открытие” [7], чтобы частично удалить оставшиеся шумы вне потенциальной зоны окопчения и скрыть незначительные фрагменты, выходящие за контур зоны, тем самым несколько сгладив его. На полученном изображении средствами библиотеки OpenCV производится поиск всех контуров. Поскольку контур зоны окопчения должен содержать точку центра повреждения, переданного на вход алгоритма, отсеиваются контуры, не содержащие ее. Так как копоть распределается неравномерно, внутри полученного изображения могут быть небольшие светлые пятна, которые будут распознаны как контуры, но не будут являться границей периферийной зоны окопчения. Поэтому за контур периферийной зоны окопчения принимается тот, который содержит в себе все остальные найденные контуры.

Помимо этого, бинарное изображение, полученное в результате операции математической морфологии на шаге 4, принимается за маску и на шаге 5 накладывается на сглаженное изображение в оттенках серого. Таким образом, получается изображение в оттенках серого, в котором всей области, имеющей большую яркость, чем периферийная зона окопчения, присваивается нулевое значение яркости, а оставшаяся часть сохраняет свою яркость. На полученном изображении производится поиск центральной зоны окопчения аналогично поиску периферийной зоны окопчения: строится гистограмма яркости, по ней методом Оцу определяется порог бинаризации, затем применяются бинаризация на шаге 6 и математическая морфология на шаге 7. На полученном изображении шага 7 находятся контуры, среди которых отсеиваются те, которые не содержат точку центра повреждения, и те, которые не содержатся внутри контура периферийной зоны окопчения. Из оставшихся контуров за границу центральной зоны отложения копоти обозначается тот, который содержит в себе все другие оставшиеся найденные контуры. Алгоритм возвращает контуры центральной и периферийной зон отложения копоти, которые могут быть отрисованы (шаг 8) на исходном изображении и выведены в интерфейс приложения. В ряде случаев невозможно разделить отложения копоти на центральную и периферийную зоны. В таком случае алгоритм вернет только внешний контур области отложения копоти.

Алгоритм поиска зон отложения копоти запускается из отдельного окна, в котором можно варьировать параметры алгоритма, а также вычислять размеры и колориметрические показатели найденных зон и задавать минус материала и входное отверстие. Окно приложения в режиме обнаружения зон отложения копоти с вычисленными размерами и колориметрическими показателями представлено на рис. 3. Здесь проиллюстрировано влияние параметров фильтра Гаусса на конечный результат выделения зон окопчения. При изменении значений параметров размытия внешний вид кривых, обозначающих контуры зон отложения копоти, меняется. При неоптимальном задании

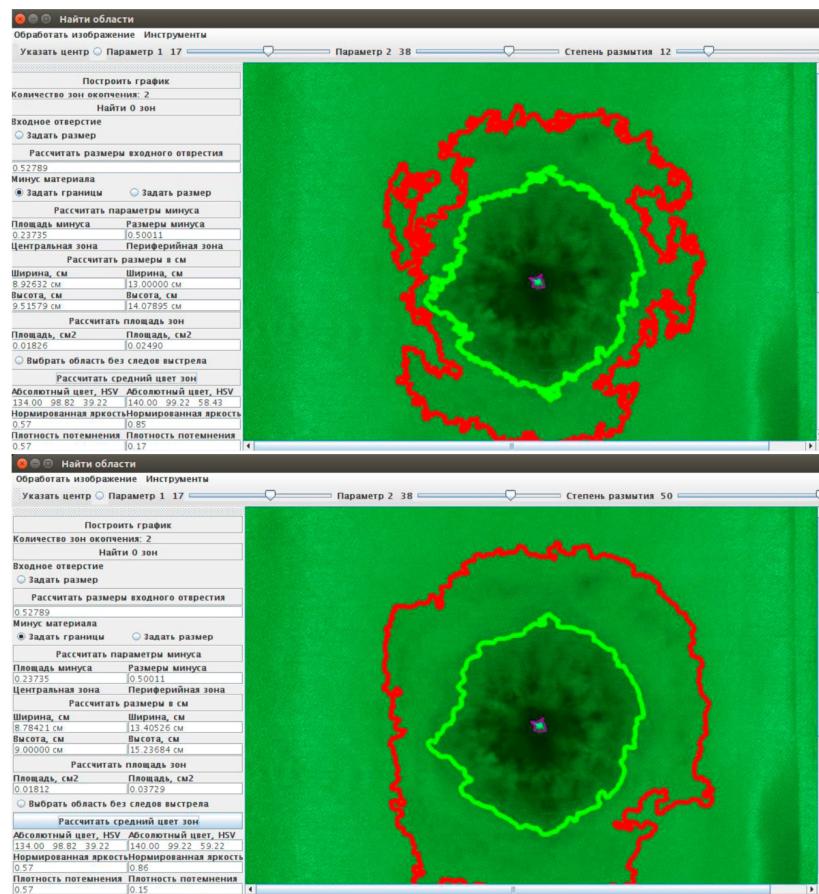


Рис. 3. Изображения окон приложения ImgOpinion в режиме автоматического выделения центральной (вверху) и периферийной (внизу) зон отложения копоти с заданной внутренней границей дефекта материала при разных относительных степенях размытия (12 и 50) по Гауссу и фиксированных остальных параметрах

Fig. 3. Images of ImgOpinion application windows in the mode of automatic selection of central (top) and peripheral (bottom) soot deposition zones with a given inner boundary of the material defect at different blurring Gaussian parameters (12 and 50) and fixed other parameters

дисперсии количество точек в найденном контуре могло быть излишне большим, в силу чего контур зоны окопчения приобретал кусочный вид. Это затрудняет решение основной задачи выявления формы и размеров зон окопчения (с относительной степенью размытия по Гауссу, равной 12), в то время как на рис. 3 при более высокой степени размытия, равной 50, кривые становятся более гладкими и ограничивают зоны окопчения полностью.

Если эксперту не удалось подобрать удовлетворительные параметры для алгоритма обнаружения зон окопчения, приложение предоставляет интерфейс для выделения зон отложения копоти вручную. При этом пользователь настраивает расположение и длину осей двух эллипсов. Внутренний и внешний эллипсы должны быть описаны около центральной и периферийной зон окопчения соответственно.

### 3. Расчет размеров и цветовых параметров выделенных зон

В окнах автоматического и ручного определения зон отложения копоти имеется элемент интерфейса для инициации вычисления их размеров. В случае ручного определе-

ния размерами зон считаются длины полуосей эллипсов, заданных пользователем. За размеры зон, выделенных автоматически, принимаются размеры минимальных ограничивающих эти контуры прямоугольников с учетом масштаба изображения. В соответствующих текстовых полях появляются вычисленные значения ширины и высоты периферийной и центральной зон окопчения.

Площади центральной и периферийной зон окопчения, вычисленные с учетом масштаба изображения как площади внутри контуров, выделенных в результате работы алгоритма или ручного задания зон окопчения, также появляются в текстовых полях с соответствующими названиями. В центральной зоне окопчения площадь вычисляется без учета минуса материала, если он был задан. В периферийной зоне окопчения площадь вычисляется без учета центральной зоны.

Если зоны окопчения не существует или она не найдена, то в соответствующих текстовых полях выводятся нулевые значения. Единицы измерения (сантиметры — для ширины и высоты и  $\text{см}^2$  — для площади) указаны в интерфейсе.

В программе предусмотрена возможность характеризации цвета выделенных зон в цветовой модели HSL (hue, saturation, lightness) с использованием расчетных формул согласно [18]. Вычисляются средние значения координат HSL, в расчет берутся все пиксели, лежащие внутри контуров зон. В периферийной зоне окопчения не учитываются площадь и цвет центральной зоны. Для того чтобы учесть цвет материала преграды, исходные плотности потемнения зон окопчения нормируются по цвету области без следов выстрела. Вычисленные значения заносятся в соответствующие текстовые поля.

Следует заметить, что определяемые таким образом цветовые характеристики представляют дополнительную значимую информацию лишь в случае, когда окраска материала мишени однородная.

#### 4. Расчет распределения копоти по поверхности мишени

В работах [12, 19] обоснована возможность оценки количества вещества в следе огнестрельного повреждения и его распределения по мишени (объекту) на основе ее цифрового изображения, показано, что интегральная оптическая плотность характеризует массу осевшей на мишени копоти. Для удобства сравнения различных огнестрельных повреждений рассмотрение ведется в зависимости от радиальной координаты на изображении, исследуются круговые области выделения. Оптическая плотность  $D_i$  в  $i$ -м пикселе изображения прямо пропорциональна [12] толщине слоя копоти  $h_i$ :

$$D_i = -\ln \frac{I_i}{I_0} = \beta h_i,$$

где  $I_0$  — яркость (уровень серого) в области изображения, не входящей в зону окопчения;  $I_i$  — яркость в  $i$ -м пикселе;  $\beta$  — коэффициент пропорциональности.

В пределах области выделения (например, круга радиусом  $R_{\max}$ ), содержащей  $N$  пикселей, масса  $m$  вещества прямо пропорциональна эффективной толщине слоя копоти  $h_{\text{эфф}}$  и площади  $S$  области выделения с коэффициентом пропорциональности  $\zeta$ :

$$m = \zeta S h_{\text{эфф}}, \quad h_{\text{эфф}} = \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{NI_0}{\sum I_i} \right),$$

где суммирование ведется по всем пикселям кругового выделения. Интегральная оптическая плотность области  $D_{\Sigma}$ , пропорциональная массе осевшей на мишени копоти,

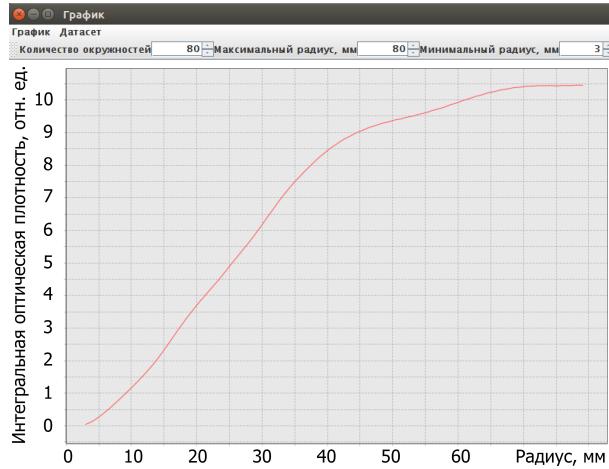


Рис. 4. Окно приложения ImgOpinion с построенным графиком зависимости интегральной оптической плотности  $D_\Sigma$  в круговой области выделения радиуса  $R$

Fig. 4. The ImgOpinion application window with plotted dependence of the integral optical density  $D_\Sigma$  in the circular selection area of radius  $R$

рассчитывается из цифрового изображения в зависимости от радиальной координаты  $R$  и площади выделения  $\pi R^2$ , при этом значение  $I_0$  задается пользователем в графическом интерфейсе приложения:

$$D_\Sigma = S \ln \left( \frac{NI_0}{\Sigma I_i} \right).$$

Для характеристики распределения вещества копоти на выделенной области изображения также используется дифференциальная оптическая плотность, которая определяется и рассчитывается как приращение оптической плотности:

$$dD_\Sigma(R) = D_\Sigma(R + dR) - D_\Sigma(R).$$

Приложение ImgOpinion предоставляет интерфейс для автоматического построения графиков радиальной зависимости интегральной и дифференциальной оптических плотностей в полярной системе координат с началом в точке визуально определенного пользователем центра повреждения. Эти данные позволяют анализировать количество и распределение вещества копоти в поперечном сечении газопороховой струи [12]. Пример окна приложения с построенным характерным графиком приведен на рис. 4.

## 5. Экспериментальные результаты

В ходе эксперимента используются белые тканевые мишени. Мишень состоит из белой хлопчатобумажной ткани без складок и картонной подложки, на которой она закрепляется канцелярскими скобами. Характерные размеры мишени не превышают  $300 \times 300$  мм. Подготовленные мишени устанавливаются перед стволовом используемого в эксперименте огнестрельного оружия на различном расстоянии  $L$  от 0 до 1 м перпендикулярно направлению движения выпущенного снаряда. Пуля после выбрасывания из канала ствола оружия, достигнув мишени, проходит сквозь нее с разрывом волокон ткани, а на поверхности мишени содержимое газопороховой струи задерживается, образуя копоть. Получаемые картины распределения копоти разнятся в зависимости от расстояния  $L$ .

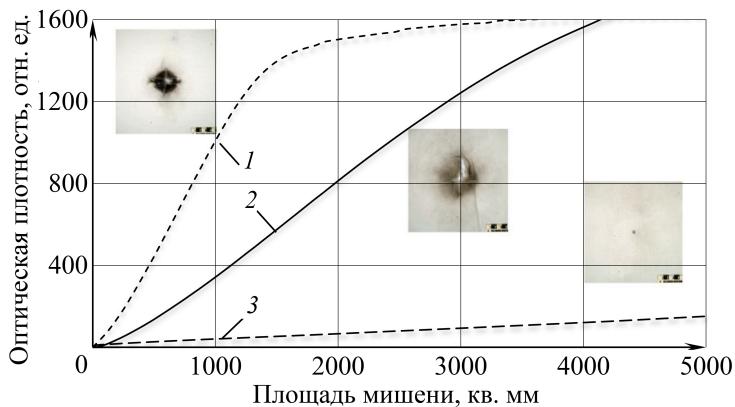


Рис. 5. Изображения распределения копоти и графики зависимости интегральной оптической плотности от площади круговой области выделения. Расстояние от ствола орудия до мишени: 1 — 10 мм; 2 — 200 мм; 3 — 700 мм

Fig. 5. Images of soot distribution and plots of the dependence of the integral optical density on the area of the circular selection area. Distance of the gun barrel to the target: 1 — 10 mm; 2 — 200 mm; 3 — 700 mm

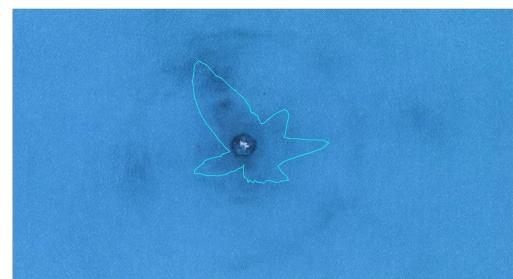


Рис. 6. Визуализация угловой зависимости интегральной оптической плотности

Fig. 6. Visualisation of the angular dependence of the integral optical density

Содержание цифрового паспорта огнестрельного повреждения на мишени, отстоящей от орудия на 1 см

Contents of the digital passport for a gunshot residue on a target 1 cm away from the gun

Изображение линейки:	G:\Work\*\*\gunpowderAK\1\_\DSC9480.TIF
Масштаб:	117.00000
Характеристики объекта исследования	
Морфология входного повреждения и основных следов выстрела	
Минус материала Наличие:	Наблюдается четко
Минус материала Площадь, см <sup>2</sup> :	1.69359
Копоть	
Центральная зона Наличие:	Наблюдается четко
Центральная зона Ширина, см:	5.02564
Центральная зона Высота, см:	4.04274
Центральная зона Площадь, см <sup>2</sup> :	11.71064
Центральная зона Средний цвет:	HSV: 24.00 12.16 16.08
Центральная зона Нормированная яркость:	0.49
Центральная зона Плотность потемнения:	0.71
Периферийная зона Наличие:	Наблюдается четко
Периферийная зона Ширина, см:	8.79487
Периферийная зона Высота, см:	7.55556
Периферийная зона Площадь, см <sup>2</sup> :	31.86405
Периферийная зона Средний цвет:	HSV: 30.00 5.49 29.41
Периферийная зона Нормированная яркость:	0.90
Периферийная зона Плотность потемнения:	0.10
Иные дополнительные следы выстрела:	

На рис. 5 демонстрируются результаты расчетов в виде графиков для нескольких изображений, полученных при различных расстояниях  $L$  и одном и том же оружии, а именно автомате Калашникова. Здесь также приведены графики зависимости распределения интегральной оптической плотности  $D_{\Sigma}$  от площади  $\pi R^2$  круговой области выделения радиуса  $R$ . Вблизи начала координат (точки центра мишени) отчетливо прослеживается зависимость угла наклона касательной к графику от дистанции между орудием и мишенью. Чем больше дистанция, тем меньше угол наклона. По мере увеличения абсциссы линия графика возрастает и стремится к горизонтальной асимптоте.

Угловое распределение толщины слоя копоти на мишени удобно представлять в виде индикатрисы рассеяния в полярных координатах с центром в точке центра повреждения. ImgOpinion позволяет сохранять изображение мишени с наложенной на него индикатрисой рассеяния в отдельный файл. Пример такого изображения приведен на рис. 6. В секторах с наибольшей интегральной оптической плотностью точки индикатрисы демонстрируют наибольшую удаленность от центра повреждения, визуализируя секторы с наибольшим количеством копоти.

Пример цифрового паспорта огнестрельного повреждения приведен в таблице.

## Выводы

Разработано специализированное ПО — десктопное приложение ImgOpinion с дружественным интерфейсом, которое выполняет оптико-структурный анализ цифровых изображений исследуемого следа выстрела. Оно предназначено для использования в экспертных лабораториях в составе аппаратно-программного комплекса компьютерного зрения MS-Unit, который включает специализированный осветитель “Фотобокс 3138” с цифровой регистрирующей камерой и ПО ImgOpinion.

Предлагаемый подход к исследованию следов выстрела не изменяет объект исследования. MS-Unit частично автоматизирует процесс выявления и анализа следов выстрела и предполагает повышение эффективности труда экспертов-криминалистов.

Выходные данные приложения представляют собой сформированный цифровой паспорт огнестрельного повреждения, который содержит совокупность криминалистически значимой информации об объекте и огнестрельном повреждении. Паспорт является адаптацией криминалистически значимых сведений о следах огнестрельного повреждения к интеграции в специализированные базы данных для дальнейшего развития автоматизации процессов экспертной оценки, проведения автоматизированного сравнения следов, установления по ним обстоятельств происшествия.

Аппаратно-программный комплекс компьютерного зрения MS-Unit передан в Волгоградскую академию Министерства внутренних дел РФ для апробации. Комплекс позволит выполнить экспериментальные работы по сравнительному изучению распределения копоти по поверхности мишени и других следов огнестрельных повреждений, нанесенных различным оружием, и получить уникальные данные. На текущем этапе разработки ПО ImgOpinion предоставляет возможность использовать высокую степень интерактивности предложенной экспертной процедуры. Всесторонняя апробация ПО в экспертной лаборатории позволит выработать четкие рекомендации по выбору параметров обработки изображений и определить методы их автоматического вычисления прямо по изображению.

## Список литературы

- [1] **Беляков А.Л., Матюшенков А.Н., Попова Т.В.** Оружие: ч. 3. Судебная баллистика. Учебное пособие. Челябинск: Челябинский юридический институт МВД России; 2004: 200.
- [2] **Смирнов В.Е.** Закономерности развития газопороховой струи при выстреле из стрелкового оружия. Экспертная техника. 1987; (65):34–45.
- [3] **Латышов И.В., Пальчикова И.Г., Кондаков А.В., Васильев В.А., Смирнов Е.С.** Актуальные проблемы разработки современных технических средств для криминалистического исследования следов выстрела. Судебная экспертиза. 2017; (52):55–63.
- [4] **Латышов И.В., Кондаков А.В., Васильев В.А., Пахомов М.Е.** Возможности использования аппаратных ресурсов видеоспектрального компаратора “Docucenter Nirvis Projectina” при производстве судебно-баллистических исследований следов выстрела. Судебная экспертиза: российский и международный опыт. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Волгоград: ВА МВД России; 2014: 181–184.
- [5] **Потапова Л.Ф.** Использование диффузионно-контактного метода в судебно-баллистической экспертизе. М.: ВНИИСЭ; 1987: 16.
- [6] **Прозоровский В.И.** Судебная медицина. М.: Юридическая литература; 1968: 170.
- [7] **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера; 2005: 1072.
- [8] **Пальчикова И.Г., Карамшук Е.В., Смирнов Е.С., Пальчиков Е.И., Самойленко М.С.** Многофункциональный полупроводниковый осветитель. Доклады академии наук высшей школы РФ. 2020; (3):62–74. DOI:10.17212/1727-2769-2020-3-62-74.
- [9] **Пальчикова И.Г., Карамшук Е.В., Смирнов Е.С., Пальчиков Е.И., Самойленко М.С.** Автономный спектрозональный осветительный прибор с функцией белого света с высоким индексом цветопередачи. Приборы и техника эксперимента. 2021; (3):155–157. DOI:10.31857/S0032816221030241.
- [10] **Баstrykin A.I.** Криминалистика. Учебное пособие. М.: Издательство Санкт-Петербургской академии следственного комитета Российской Федерации; 2019: 506.
- [11] **Латышов И.В., Пальчикова И.Г., Кондаков А.В., Васильев В.А., Смирнов Е.С.** Паспорт огнестрельного повреждения как интегративная часть инновационных аппаратно-программных комплексов. Судебная экспертиза. 2020; (2):58–66.
- [12] **Palchikova I.G., Latyshov I.V., Smirnov E.S., Vasiliev V.A., Kondakov A.V., Budaeva I.A.** Computer vision in analyzing the propagation of a gas-gunpowder jet. Sensors. 2022; (1):6. DOI:10.3390/s22010006.
- [13] Photoshop system requirements. Available at: <https://helpx.adobe.com/photoshop/systemrequirements.html> (accessed 24.01.2024).
- [14] OpenCV modules. Available at: <http://docs.opencv.org/index.html> (accessed 24.11.2021).
- [15] **Макагон С.А., Зори С.А.** Сравнение популярных библиотек компьютерного зрения для использования в приложении по распознаванию транзисторов. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции “Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем”. Донецк; 2018: 67–71.
- [16] Apache license, version 2.0. Available at: <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0> (accessed 24.11.2021).
- [17] **Чулков И.А.** Стрелковое огнестрельное оружие и его следы на пулях, гильзах и преградах. Ч. 13. Волгоград: ВА МВД России; 2019: 76.

- [18] **Agoston M.K.** Computer graphics and geometric modeling. London: Springer; 2005: 301.
- [19] **Пальчикова И.Г. Латышов И.В., Смирнов Е.С., Кондаков А.В., Васильев В.А.** Колориметрический метод в решении задач по установлению обстоятельств выстрела. Судебная экспертиза. 2019; (2):28–37. DOI:10.25724/VAMVD.GUVW.

## Generation of a digital passport for gunshot residues using the computer vision techniques

I. G. PALCHIKOVA\*, I. A. BUDAeva, E. S. SMIRNOV

Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS, 630058, Novosibirsk, Russia

\*Corresponding author: Irina G. Palchikova, e-mail: [palchikova@gmail.com](mailto:palchikova@gmail.com)

Received March 10, 2023, revised June 27, 2023, accepted July 04, 2023.

### Abstract

The ImgOpinion software, capable to perform the optical and structural analysis of a digital image of the object by computer vision methods, was developed. It can be employed in expert laboratories as a part of the computer vision hardware-software complex MS-Unit together with specialized illuminator “Photobox 3138” with a digital recording camera. The output data is constructed in the form of a digital passport of the gunshot residue, which contains forensically significant characteristics of the object under investigation, as well as a gunshot residue detected on it.

*Purpose.* The research has solved the problem of creating a specialised hardware and software complex for forensic examination, the use of which partially automates the processes of identification and quantitative characterisation of gunshot traces and products.

*Methodology.* Non-destructive research methods are implemented in computer vision systems, which include two main stages: a digital image acquisition and its mathematical processing. The hardware and software complex of a computer vision usually consists of an illuminator, a digital recording video camera and a specialised program for processing the raw data.

*Findings.* ImgOpinion software has been developed, which allows performing the optical-structural analyses of digital images using the computer vision methods and is intended for use in expert laboratories as part of the MS-Unit computer vision hardware and software complex, which includes a specialized illuminator “Photobox 3138” with a digital recording camera. Autonomous and portable device has a mobile design and provides white light with colour temperature 5000 K (CIE D50) and colour rendering index CRI = 97+. Six independently switched LED monochrome illuminators with narrow spectral bands from 365 to 880 nm (UV to IR spectral bands) provide the uniform illumination without extraneous stray light on the working field (light intensity drop below 2 % at the edges of the working field).

*Value.* The ImgOpinion output is constructed in the form of a digital passport of a gunshot injury, which contains forensically relevant characteristics of the object of investigation. The digital passport is an adaptation of the forensically significant information on the firearm traces for the integration into specialized databases for further development of the automation of expert evaluation processes, conducting the automated trace comparison and the determination of incident circumstances by it.

*Keywords:* gunshot residue, digital image processing, damage passport.

*Citation:* Palchikova I.G., Budaeva I.A., Smirnov E.S. Generation of a digital passport for gunshot residues using the computer vision techniques. Computational Technologies. 2024; 29(1):93–106. DOI:10.25743/ICT.2024.29.1.009. (In Russ.)

## References

1. **Belyakov A.L., Matyushenkov A.N., Popova T.V.** Oruzhievedenie: chast' 3. Sudebnaya ballistika. Uchebnoe posobie [Weapons science: pt 3. Forensic ballistics. Training manual]. Chelyabinsk: Chelyabinskij Yuridicheskiy Institut MVD Rossii; 2004: 200. (In Russ.)
2. **Smirnov V.E.** Laws of the gas-powder jet development when fired from a small-arms gun. Ekspertnaya Tekhnika. 1987; (65):34–45. (In Russ.)
3. **Latyshov I.V., Palchikova I.G., Kondakov A.V., Vasiliev V.A., Smirnov E.S.** Topical problems of the development of the modern technical means for the criminalistic research of the shot tracks. Forensic Examination. 2017; (52):55–63. (In Russ.)
4. **Latyshov I.V., Kondakov A.V., Vasiliev V.A., Pakhomov M.E.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya apparatnykh resursov videospektral'nogo komparatora "Docucenter Nirvis Projectina" pri proizvodstve sudebno-ballisticheskikh issledovaniy sledov vystrela [Possibilities of using the hardware resources of the Docucenter Nirvis Projectina video spectral comparator in the forensic ballistic investigation of gunshot residues]. Judicial Expertise: Russian and International Experience: Proceedings of the 2nd International Scientific-Practical Conference. Volgograd: VA MVD Rossii; 2014: 181–184. (In Russ.)
5. **Potapova L.Ph.** Ispol'zovanie diffuzionno-kontaktnogo metoda v sudebnno-ballisticheskoy ekspertize [Use of the diffusion-contact method in forensic ballistics]. Moscow: VNIISE; 1987: 16. (In Russ.)
6. **Prozorovskiy V.I.** Sudebnaya meditsina [Forensic medicine]. Moscow: Yuridicheskaya Literatura; 1968: 170. (In Russ.)
7. **Gonzalez R.C., Woods R.E.** Digital image processing. Prentice Hall: Pearson Education, Inc.; 2008: 1103.
8. **Palchikova I.G., Karamchuk E.V., Smirnov E.S., Palchikov E.I., Samoylenko M.S.** Multi-functional semiconductor lighting. Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences. 2020; (3):62–74. DOI:10.17212/1727-2769-2020-3-62-74. (In Russ.)
9. **Palchikova I.G., Karamchuk E.V., Smirnov E.S., Palchikov E.I., Samoylenko M.S.** Stand-alone spectrozone lighting device with white light function and high colour rendering index. Instruments and Experimental Techniques. 2021; (3):155–157. DOI:10.31857/S0032816221030241. (In Russ.)
10. **Bastrykin A.I.** Kriminalistika. Uchebnoe posobie [Criminalistics. Training manual]. Moscow: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskoy Akademii Sledstvennogo Komiteta Rossiyskoy Federatsii; 2019: 506. (In Russ.)
11. **Latyshov I.V., Palchikova I.G., Kondakov A.V., Vasiliev V.A., Smirnov E.S.** Gunshot damage data sheet as an integrative part of innovative hardware/software complexes. Forensic Examination. 2020; (2):58–66. (In Russ.)
12. **Palchikova I.G., Latyshov I.V., Smirnov E.S., Vasiliev V.A., Kondakov A.V., Budaeva I.A.** Computer vision in analyzing the propagation of a gas-gunpowder jet. Sensors. 2022; (1):6. DOI:10.3390/s22010006.
13. Photoshop system requirements. Available at: <https://helpx.adobe.com/photoshop/systemrequirements.html> (accessed 24.01.2024).
14. OpenCV modules. Available at: <http://docs.opencv.org/index.html> (accessed 24.11.2021).
15. **Makogon S.A., Zori S.A.** Sravnenie populyarnykh bibliotek kom'yuternogo zreniya dlya ispol'zovaniya v prilozhenii po raspoznavaniyu tranzistorov [Comparison of popular computer vision libraries for use in transistor recognition applications]. Sbornik Nauchnykh Trudov II Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii "Programmnaya Inzheneriya: Metody i Tekhnologii Razrabotki Informatsionno-Vychislitel'nykh Sistem". Donetsk; 2018: 67–71. (In Russ.)
16. Apache license, version 2.0. Available at: <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>.
17. **Chulkov I.A.** Strelkovoe ognestrel'noe oruzhie i ego sledy na pulyakh, gil'zakh i pregradakh. Chast' 13 [Firearms and their traces on bullets, cartridges and barriers. Pt 13]. Volgograd: VA MVD Rossii; 2019: 76. (In Russ.)
18. **Agoston M.K.** Computer graphics and geometric modeling. London: Springer; 2005: 301.
19. **Pal'chikova I.G., Latyshov I.V., Smirnov E.S., Kondakov A.V., Vasil'ev V.A.** Colorimetric method used for establishing circumstances of fireshot. Forensic Examination. 2019; (2):28–37. DOI:10.25724/VAMVD.GUVW. (In Russ.)