



УДК 343.98.065

МЕТОД БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЛЕДОВ НА ВЫСТРЕЛЕННЫХ ПУЛЯХ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ИХ ПРИГОДНОСТИ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ОРУЖИЯ

В. А. Федоренко

кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией криминалистического материаловедения, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: fed77@yandex.ru

Е. В. Сидак

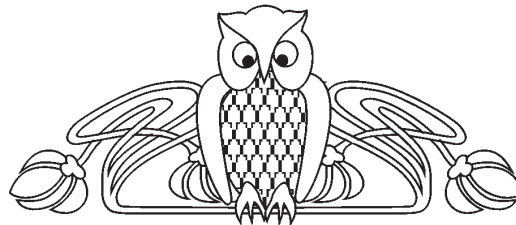
программист лаборатории криминалистического материаловедения, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: sidakev@gmail.com

Введение. При проведении проверок в автоматическом режиме по электронным пулетекам анализируются тысячи изображений однотипных следов, в том числе и не пригодные для идентификации. Для уменьшения объема вычислений и повышения их эффективности необходимо исключить из анализа следы, заведомо не пригодные к идентификации. Целью данной работы является анализ известных методов оценки пригодности динамических следов к идентификации, а также разработка метода бинаризации изображений следов на выстреленных пулях, обеспечивающего минимальные искажения ширины трасс. **Теоретический анализ.** Известны два метода оценки пригодности динамических следов к идентификации слеодообразующего объекта. Первый заключается в подсчете числа трасс, учете ширины трасс и промежутков между ними. Второй заключается в нахождении функции взаимной корреляции (АКФ). Форма АКФ следа, пригодного к идентификации, будет близка к форме дельта-функции. Более перспективным для анализа следов на выстреленных пулях является второй метод. **Экспериментальная часть.** Предложен метод бинаризации, основанный на построении кривой средней яркости по столбцам изображения. Применение данного метода к изображениям динамических следов, ориентированных вертикально, позволяет достаточно полно отобразить их основные признаки на бинарных изображениях. **Заключение.** Предложенный метод позволяет получать бинарные изображения следов на выстреленных пулях, пригодные для автоматического анализа их пригодности к идентификации и последующего сравнения следов. **Ключевые слова:** динамические следы, следы на пулях, бинарные изображения, идентификация оружия, метод бинаризации изображений.

DOI: 10.18500/1994-2540-2016-16-2-214-218

Введение

При проведении проверок в автоматическом режиме по электронным пулетекам анализируются тысячи изображений однотипных следов, представленных в градациях серого. В анализе участвуют все следы с соответствующими групповыми признаками независимо от их пригодности



к идентификации. Для уменьшения объема вычислений и повышения их эффективности необходимо исключить из анализа следы, заведомо не пригодные к идентификации. Электронная пулетека регионального уровня обычно содержит несколько тысяч учетных записей разверток боковых поверхностей пуль со следами оружия. Для оценки пригодности одного следа к идентификации в неавтоматическом режиме требуется порядка 5 минут. Соответственно, на анализ, например, изображений разверток 1000 пуль потребуется более 300 часов. Поэтому процедуру оценки изображений следов на пригодность к идентификации необходимо автоматизировать.

Исходные изображения следов представлены в градациях серого и часто характеризуются неравномерной освещенностью, наличием различных пространственных шумов и артефактов, размытыми границами и разрывностью трасс. Поэтому, независимо от выбора самого метода оценки идентификационной значимости следов, для его реализации в автоматическом режиме необходимо провести бинаризацию исходных изображений.

Целью данной работы является анализ известных методов оценки пригодности динамических следов к идентификации, разработка метода бинаризации изображений следов на выстреленных пулях, исключающего негативное влияние неравномерной яркости изображения и пространственных шумов, обеспечивающего минимальные искажения ширины трасс.

Теоретический анализ

Одной из первых публикаций, посвященных оценке пригодности следов к идентификации, следует считать работу Г. Л. Грановского [1]. В ней рассматриваются динамические следы без учета групповых признаков. В качестве основных структурных элементов, содержащих идентификационную информацию, выделяются трассы и промежутки между ними. В конеч-



ном счете предлагается подсчитывать число структурных элементов, которые могут быть дополнительно дифференцированы по ширине. Методом экспертной оценки и статистической экстраполяции было установлено, что след может быть признан пригодным к идентификации (обладающим достаточной идентификационной информацией), если он включает не менее 19 так называемых структурных элементов (трасс и промежутков).

Однако определенное таким образом минимально необходимое для обеспечения идентификации число элементов может оказаться

завышенным для следов с заданными групповыми признаками. К ним можно отнести следы от нарезного канала ствола на выстреленных пулях. На рис. 1 представлено совмещение трасс в следах на пулях, выстреленных из одного канала ствола с полигональным нарезом. На поверхности каждой пули присутствовало только по одному динамическому следу, состоящему из 4 трасс. Следы на пулях располагались на одном расстоянии от потертости, образованной боевой гранью нареза. Данное совмещение демонстрирует факт криминалистического тождества следов, несмотря на малое число трасс.

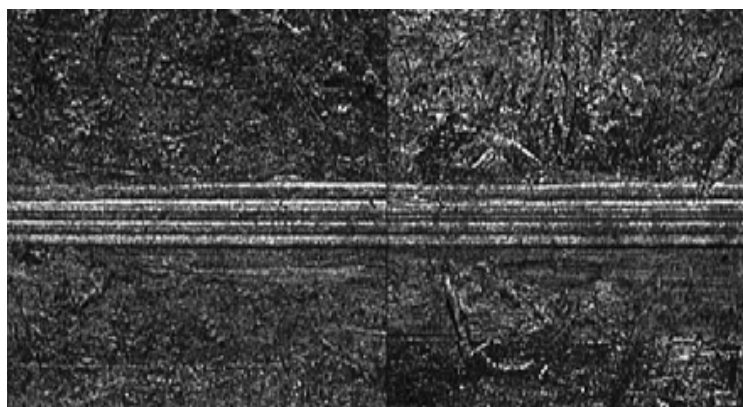


Рис. 1. Совмещение трасс парных следов на пулях, выстреленных из одного канала ствола

Кроме этого, данный метод оценки не позволяет объяснить слабую идентификационную значимость следов, состоящих из большого числа трасс, последовательно следующих друг за другом, например, на пулях, выстреленных из оружия с большим износом канала ствола.

Другой подход к оценке идентификационной значимости динамических следов представлен в работе [2]. Для оценки значимости предложено использовать автокорреляционную функцию (АКФ) следа, которая характеризует меру статистической зависимости значений пикселей, сдвинутых относительно друг друга на интервал τ :

$$C_{xx}(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{i=0}^{N-\tau-1} (x_i - \bar{x})(x_{i-\tau} - \bar{x}), \quad (1)$$

где x_i – значения пикселей одной выделенной строки матрицы анализируемого изображения; \bar{x} – среднее значение x ; C_{xx} – автокорреляционная функция ряда x ; N – длина строки; τ – сдвиг.

Функция C_{xx} , рассчитанная по изображению следа, представляющего собой уникальную последовательность трасс, по внешнему виду будет близка к δ -функции (дельта-функции). В качестве примера на рис. 2 представлены бинарные изображения следов и их АКФ

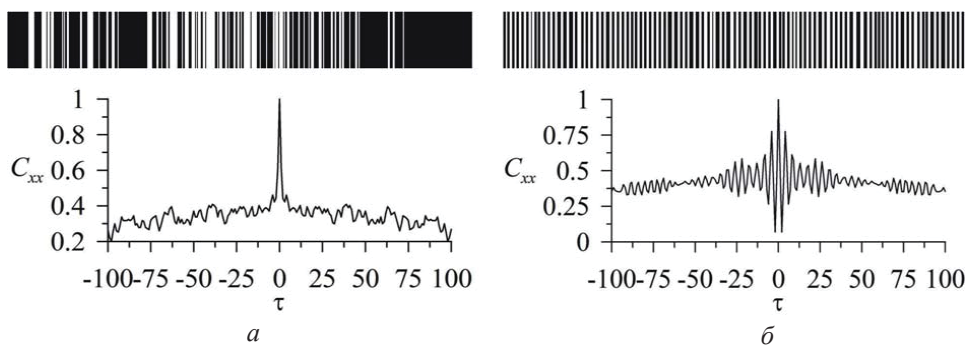


Рис. 2. Бинарные изображения следов и их автокорреляционные функции: *a* – информативного следа; *b* – малоинформативного следа



с уникальным и малоинформативным набором трасс соответственно.

В рассмотренных работах не исследуются деформированные следы, в которых идентификационно значимая информация искажается. В работе [3] изучалась пригодность к идентификации следов на деформированных пулях. Изначально предполагалось, что следы на исследуемых пулях до их деформации были пригодны к идентификации. В работе определена величина допустимой относительной деформации пуль различных калибров, при которой следы еще не претерпевают значимых для идентификации изменений. Для деформированных пуль была введена дополнительная категория следов – следы ограниченно пригодные к идентификации. При сравнении парных следов данной категории трассы могут быть совмещены только на некоторой их части. Чем больше деформация, тем уже пространственный интервал, на котором совпадающие признаки могут быть совмещены.

При пренебрежении деформацией пуль более перспективным методом оценки идентификационной пригодности следов является метод построения автокорреляционных функций, поскольку он позволяет отнести следы, представляющие собой сплошные наборы трасс (например, следы канала ствола с большим износом), к категории не пригодных к идентификации.

Экспериментальная часть

Предварительная обработка исходных изображений заключается в повороте изображений вторичных следов (следов от дна нарезов, полей нарезов) на угол наклона трасс, чтобы последние располагались на изображении вертикально. Изображения с такой ориентацией структурных элементов более удобны для последующей цифровой обработки. Применение в дальнейшем стандартных методов бинаризации изображений, основанных на применении глобального или адаптивного порога бинаризации, таких как метод Ниблека [4, с. 115–116], бинаризации по глобальному порогу [5], не привело к удовлетворительному результату. Поскольку уникальность динамического следа определяется последовательностью вертикальных полос разной яркости, был предложен метод бинаризации, основанный на построении кривой средней яркости по столбцам изображения.

Суть метода заключается в следующем. Пусть исходное изображение следа представлено в виде матрицы A , состоящей из M строк и N столбцов:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & & a_{2,N} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ a_{M,1} & a_{M,2} & & a_{M,N} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где каждый элемент этой матрицы $a_{i,j}$ – элемент изображения или пиксель, имеет некоторое значение, определяющее яркость изображения в данном пикселе. Для изображений, представленных в 8-битном коде, значение яркости меняется в диапазоне от 0 до 255. Кривая средней яркости по столбцам изображения $H(j)$ получалась путем расчета среднего арифметического $H_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M a_{i,j}$

в каждом столбце изображения. Далее кривая $H(j)$, отражающая профиль яркости изображения, нормируется на число уровней яркости, так что $H(j)$ принимает значения от 0 до 1. В местах положения трасс на кривой наблюдались локальные максимумы яркости (рис. 3, а). Для подавления высокочастотных пространственных шумов к кривой яркости $H(j)$ применялся фильтр нижних частот. Это позволило исключить формирование ложных трасс шириной 1–2 пикселя, обусловленных присутствием шумовых точек на исходном изображении. Для бинаризации изображения находились координаты локальных максимумов Z_{\max}^k и локальных минимумов Z_{\min}^k . Для каждого локального максимума определялся свой порог бинаризации по уровню яркости H_k . Для этого находилась координата ближайшего к нему по яркости соседнего минимума $Z_{\min}^{k*} = \max(Z_{\min}^k, Z_{\min}^{k+1})$, порог рассчитывался как срединное значение между значениями яркости в точках Z_{\max}^k и Z_{\min}^{k*} (рис. 3, б):

$$\begin{aligned} H_1 &= (H(Z_{\max}^1) - H(Z_{\min}^{1*})) / 2 + H(Z_{\min}^{1*}); \\ H_2 &= (H(Z_{\max}^2) - H(Z_{\min}^{2*})) / 2 + H(Z_{\min}^{2*}); \dots \end{aligned} \quad (3)$$

Всем пикселям изображения $a_{i,j}$ в диапазоне $[Z_{\min}^k; Z_{\min}^{k+1}]$, яркость которых превышает H_k , присваивалось значение, равное 1 (признак), остальные пиксели считались фоном со значением яркости, равным нулю (рис. 3, б). Локальные максимумы на нормированной кривой $H(j)$, не превышающие ближайшего минимума более чем на 0.1, исключались из рассмотрения, и всем пикселям $a_{i,j}$, лежащим в окрестности данного максимума, присваивалось значение, равное 0 (фона). В результате применения данного метода



исходные изображения, представленные в градациях серого, были преобразованы в бинарные с незначительными искажениями трасс по ширине (рис. 3, в). На рис. 4 в качестве примера приведены изображения парных следов, представленные

в градациях серого и в бинарном виде. Видно, что на бинарных изображениях достаточно полно отобразились основные признаки следов, при этом практически все совпадающие трассы совместились.

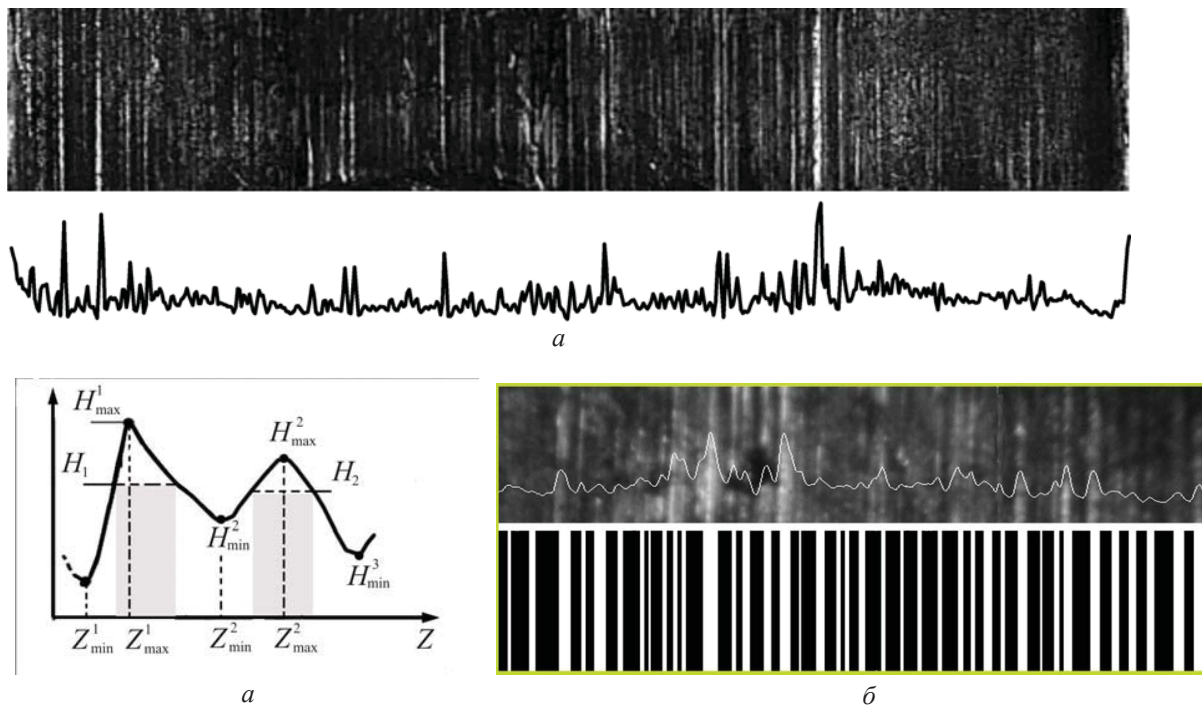


Рис. 3. Преобразование исходного изображения, представленного в градациях серого, в бинарный вид: *а* – кривая средней яркости, наложенная на исходное изображение; *б* – схема формирования бинарного изображения динамического следа; *в* – корреляция трасс на исходном изображении и изображении после его бинаризации

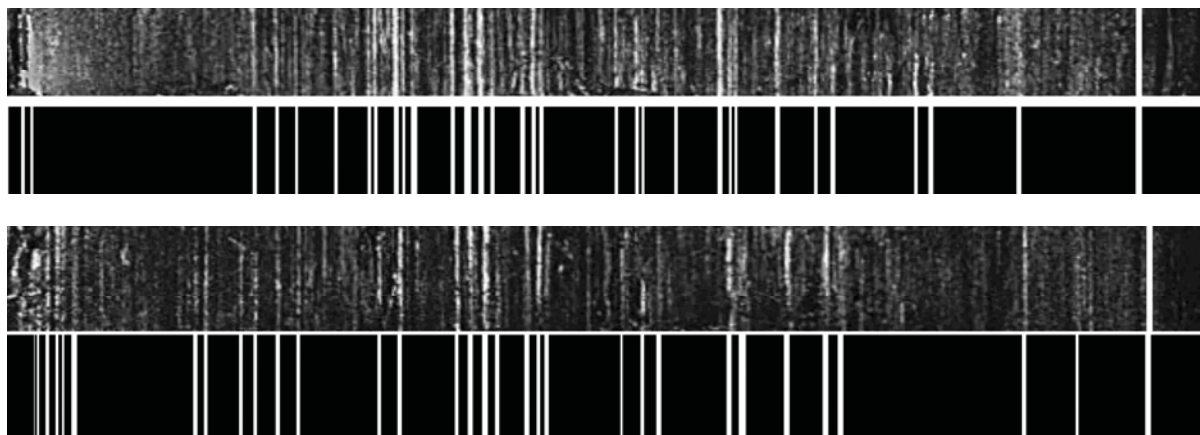


Рис. 4. Изображения парных следов, представленные в градациях серого и в бинарном виде

Предложенный метод бинаризации позволяет исключить из бинарных изображений следов различного рода засветки, блики, неравномерность освещения и в последующем более корректно строить автокорреляционную функцию для оценки идентификационной пригодности следов.

Заключение

Предложенный метод позволяет корректно преобразовывать изображения динамических следов, представленные в градациях серого, в бинарные без значимых искажений идентификационной информации. Бинарные изображения следов пригодны для дальнейшего их анализа.



В качестве метода оценки пригодности следов к идентификации более перспективным является метод построения автокорреляционных функций. Однако следует отметить, признание следов пригодными к идентификации не гарантирует формирования категорического вывода по результатам их сравнения. Поэтому, по мнению авторов, для исключения логической коллизии, когда сравниваемые следы признаны пригодными к идентификации, а вывод по результатам сравнительного исследования в категорической форме невозможен (т.е. факт наличия или отсутствия тождества не установлен), следы корректнее признавать пригодными к сравнительному исследованию, а не к идентификации.

Список литературы

1. Грановский Г. Л. Вероятностная оценка пригодности линейных (динамических) следов для идентификации : метод. реком. для экспертов. М., 1985. 20 с.
2. Федоренко В. А., Сидак Е. В. Обработка цифровых изображений следов на пулях для автоматической идентификации оружия // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2014. Т. 14, вып. 1, ч. 2. С. 200–205.
3. Федоренко В. А. Идентификация оружия по следам на деформированных пулях // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2012. Т. 12, вып. 3. С. 49–53.
4. Niblack W. An Introduction to Image Processing. N.J. : Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986. 626 p.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Мир цифровой обработки. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. под ред. П. А. Чочиа. М. : Техносфера, 2005. 1072 с.

Method of the Binarization of Images of Traces on the Shot Bullets for the Automatic Assessment of Their Suitability to Identification of the Firearms

V. A. Fedorenko

Saratov State University,
83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012, Russia
E-mail: fed77@yandex.ru

E. V. Sidak

Saratov State University,
83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012, Russia
E-mail: sidakev@gmail.com

Introduction. Nowadays, automatic identification of weapons on electronic databases involves the analysis thousands of images of similar tracks, including images which are not suitable for identification. It is necessary to exclude from the analysis traces not suitable for identification for reduction of volume of calculations and increase of their efficiency. The aim of this work is the analysis of methods for assessing the suitability of traces to the identification and develop image binarization technique, which ensures minimal distortion of the width tracks on traces on the shot bullets. **Theoretical analysis.** There are two methods for evaluating of the suitability of dynamic traces to identify the weapon. The first is to count the number of lines, the width of the tracks and the spaces between them. The second is to find the autocorrelation function (ACF). The ACF form is close to a delta function form for a trace suitable for identification. The second method is more promising for the analysis of traces on the shot bullets. **Experimental part.** The authors proposed an image binarization technique based on the construction of the image brightness profile. Application of this technique to images of dynamic traces, which are oriented vertically, allows adequately display the main tracks on binary images. **Conclusion.** The proposed method allows to get a binary image of traces on the shot bullets suitable for automatic analysis of their suitability for identifying and further comparing traces.

Key words: dynamic traces, traces on fired bullets, bitmap, identification of weapons, image binarization technique.

References

1. Granovsky G. L. *Veroiatnostnaia otsenka prigodnosti lineinykh (dinamicheskikh) sledov dlia identifikatsii: metodicheskie rekomendatsii dlia ekspertov* [Probabilistic assessment of the suitability of linear (dynamic) traces for identification. Manuals recommended for experts]. Moscow, 1985. 20 p.
2. Fedorenko V. A., Sidak E. V. *Obrabotka tsifrovyykh izobrazhenii sledov na puliakh dlia avtomaticheskoi identifikatsii oruzhiia* [Processing of Digital Images of Traces on Bullets for Automatic Identification of Firearms]. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2014, vol. 14, iss. 1, pt. 2, pp. 200–205.
3. Fedorenko V. A. *Identifikatsiia oruzhiia po sledam na deformirovannykh puliakh* [Identification of weapons on traces on the deformed bullets]. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2012, vol. 12, iss. 3, pp. 49–53.
4. Niblack W. *An Introduction to Image Processing*. New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986. 626 p.
5. Gonzales Rafael C., Woods Richard E. *Digital Image Processing*. 2nd ed. New Jersey, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002 (Russ. ed.: Gonsales R., Vuds R. *Mir tsifrovoi obrabotki. Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005. 1072 p.).