

УДК 621.375.826

## Применение корреляционной обработки цифровых оптических изображений для решения задач криминалистики

Козлов В.Л., Васильчук А.С.

Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220050, г. Минск, Беларусь

Поступила 17.06.2015

Принята к печати 30.10.2015

Применение корреляционной обработки цифровых оптических изображений объектов экспертного исследования является перспективным направлением повышения качества, достоверности и репрезентативности проводимых исследований. Целью работы являлась разработка принципов компьютерной реализации и алгоритмов проведения экспертных исследований с применением методов корреляционного анализа для решения таких задач криминалистики, как сравнение цвето-тоновых параметров изображений оттисков печатей и штампов и измерение параметров следов полей нарезов канала ствола на стреляных пулях. Разработана методика и программное приложение, предназначенное для получения линейных, угловых и высотных характеристик профиля (микрорельефа) следов полей нарезов канала ствола оружия, отобразившихся на пуле в процессе выстрела, для проведения судебно-баллистических экспертиз. Экспериментальные данные свидетельствуют о высокой эффективности работы разработанного программного приложения и подтверждают требуемую точность проводимых измерений. Разработана методика и создано специализированное программное приложение для сравнительного анализа цвето-тоновых характеристик изображений оттисков печатей и штампов, отражающее степень и характер распределения красящего вещества в штрихах, что повышает наглядность и объективность экспертиз, а также позволяет сократить сроки их проведения. Предложена методика экспертной интерпретации результатов корреляционного анализа. Достоверность полученных значений подтверждается экспериментальными исследованиями и была проверена при помощи других методов.

**Ключевые слова:** цифровое изображение, цвето-тоновые параметры, корреляционная обработка, субпиксельная интерполяция.

---

**Адрес для переписки:**

Козлов В.Л.  
Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220050, г. Минск, Беларусь  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

**Address for correspondence:**

Kozlov V.L.  
Belarusian State University,  
Nezavisimosty Ave., 4, Minsk, 220050, Belarus  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

---

**Для цитирования:**

Козлов В.Л., Васильчук А.С.  
Применение корреляционной обработки цифровых оптических изображений для решения задач криминалистики  
Приборы и методы измерений  
2015. – Т. 6, № 2. – С. 220–229

**For citation:**

Kozlov V.L., Vasilchuk A.S.  
Correlation processing of digital optical images for solving criminalistic problems  
Devices and Methods of Measurements  
2015, vol. 6, No. 2, pp. 220–229

## Введение

Разработка специализированного программного обеспечения (ПО) с применением функций корреляционной обработки цифровых изображений объектов экспертного исследования является перспективным направлением проведения криминалистических экспертиз, так как позволяет расширить перечень методов и средств измерений, оптимизировать процесс измерений и тем самым повысить качество, достоверность и репрезентативность проводимых исследований [1–3].

Одной из важных задач криминалистической экспертизы является изучение цвето-тоновых параметров цифровых моделей изображений оттисков печатей и штампов (ОПШ) [4]. Применение корреляционной обработки оптических изображений является одним из направлений повышения качества цифровой обработки оттисков удостоверительных печатных форм, т.к. делает возможным получение данных, которые недоступны при использовании других методов исследования и могут быть полезны при решении различного рода диагностических и некоторых идентификационных экспертных задач [5–8]. Цифровой анализ оптических характеристик изображений позволит получить информацию, отражающую степень и характер распределения красящего вещества в штрихах, с максимально высокой точностью и достоверностью. Важной задачей также является преобразование полученных цифровых данных в криминалистически значимую информацию, что возможно только путем использования специализированного ПО, алгоритмы работы которого позволяют осуществлять необходимый подсчет и интерпретацию соответствующих параметров изображения.

Другой важной задачей криминалистической и судебно-баллистической экспертизы является определение вида и конкретного экземпляра ручного огнестрельного оружия. Успешная идентификация конкретного экземпляра оружия напрямую зависит от применяемых в процессе исследования технических средств и методов, что позволяет расширить круг идентификационных признаков и в результате значительно повысить качество проводимых исследований, обоснованность и достоверность полученных выводов [9]. В криминалистической литературе справедливо отмечается, что техника исследования пуль, гильз и огнестрельного оружия в целях его идентификации пока отстает от возможностей, которые может обеспечить

современное развитие технических наук. В связи с этим технические средства, применяемые при производстве судебно-баллистических экспертиз, нуждаются в совершенствовании [1, 2].

Для определения модели оружия, из которого выстрелена исследуемая пуля, измеряются: диаметр пули, число отобразившихся на ней нарезов, ширина и угол их наклона. Одним из параметров, определение которого до настоящего времени представляло значительную сложность, является измерение высот неровностей профиля (микрорельефа) следов полей нарезов канала ствола на выстрелянных пулях. Решение приведенной задачи возможно с использованием корреляционного анализа цифрового стереоизображения объектов экспертного исследования. Корреляционный анализ стереоизображения используется для решения задач построения 3D-изображений объектов и карты глубины по дальности заданной области пространства [10–13]. Однако задача измерения размерных параметров и профиля микрообъектов с использованием этой методики до настоящего времени не решена. Для обеспечения высокой точности измерений необходимо применение субпиксельной интерполяции [14–15], при этом целесообразно разработать специализированную методику для анализа размеров микрообъектов.

Целью работы являлась разработка принципов компьютерной реализации алгоритмов проведения экспертных исследований и создание программного приложения для решения таких задач криминалистики, как сравнение цвето-тоновых параметров изображений оттисков печатей и штампов и измерение параметров следов полей нарезов канала ствола на стреляных пулях с применением методов корреляционного анализа оптических изображений и субпиксельной интерполяции положения максимума корреляционной функции.

## Измерение неровностей профиля и линейных характеристик микроследов на объектах исследования криминалистических экспертиз

Для исследования следов оружия на пулях и гильзах патронов в настоящее время применяются в основном два метода: по развернутым фотоизображениям следов оружия на пулях и гильзах, а также непосредственно на них с помощью инструментальных и сравнительных микроскопов,

имеющихся в распоряжении экспертных подразделений [1, 2, 9]. Следует отметить, что наибольшую точность измерения линейных и угловых параметров следов могут обеспечить универсальные измерительные микроскопы, однако в большинстве экспертных подразделений такие микроскопы отсутствуют. Измерение высот неровностей профиля следов канала ствола на пуле могло быть произведено лишь на двойном микроскопе Линника, принцип работы которого основан на использовании метода светового сечения [1]. Однако отсутствие данного прибора в экспертных учреждениях не позволяет до настоящего времени в полной мере использовать указанный параметр при производстве судебно-баллистических экспертиз.

В целях решения обозначенной выше проблемы для получения необходимых в ходе проведения судебно-баллистических экспертиз параметров следов канала ствола оружия, отобразившихся на поверхности пули, была разработана методика, основанная на корреляционном анализе их цифрового стереоизображения. Известные измерители расстояний [16, 17], в которых используется цифровая фотокамера и анализ стереоизображения, не обеспечивают необходимую точность проводимых измерений, в частности не позволяют измерять высоты неровностей профиля следов полей нарезов канала ствола, отобразившихся на метаемом элементе (пуле) в процессе выстрела, а также их линейные и угловые параметры.

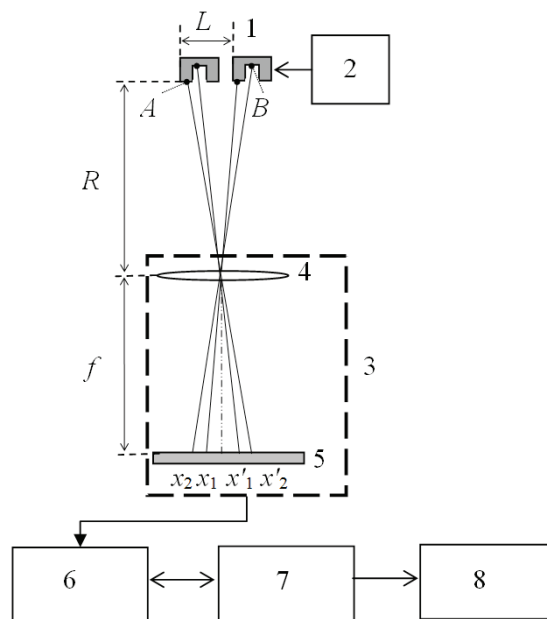
Принцип работы устройства измерения линейных и угловых параметров, а также высот профиля (микрорельефа) следов упрощенно показан на функциональной схеме (рисунок 1). На фотоприемной матрице 5 через оптическую систему микроскопа 4 формируется первое цифровое изображение измеряемого следа, отобразившегося на поверхности исследуемого объекта. После формирования первого изображения с помощью координатного стола микроскопа (блока микроперемещения 2) объект исследования перемещается в пространстве в горизонтальной плоскости на расстояние  $L$  и производится формирование второго цифрового изображения. Полученные изображения поступают в процессор 7, где производится измерение высот профиля, линейных и угловых размеров по следующему алгоритму. На первом изображении в блоке индикации 8 указывается точка исследуемого объекта (окно сканирования), до которой необходимо произвести измерение расстояния. Окно сканирования с аналогичными ко-

ординатами автоматически формируется и на втором снимке. После этого в процессоре осуществляется сканирование первого окна относительно второго по горизонтали и вертикали, при этом вычисляется значение двухмерной нормированной корреляционной функции между выделенными изображениями в соответствии с выражением:

$$R(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)(I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x,y} (I_2(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{I}_2)^2}}, \quad (1)$$

$$\bar{I}_n = \frac{\sum_{x,y} I_n(x, y)}{x_{max} y_{max}},$$

где  $I_1$  – сигнал окна сканирования первого изображения;  $I_2$  – сигнал окна сканирования второго изображения;  $x_{max}, y_{max}$  – размер сканирующего окна по горизонтали и вертикали, соответственно;  $\Delta x, \Delta y$  – сдвиг по горизонтали и вертикали, соответственно,  $\bar{I}_1, \bar{I}_2$  – средние значения сигнала в первом и втором окне сканирования соответственно;  $n = 1, 2$ .



**Рисунок 1** – Функциональная схема устройства измерения параметров следов: 1 – измеряемый объект; 2 – блок микроперемещения; 3 – цифровой микроскоп; 4 – оптическая система микроскопа; 5 – фотоприемная матрица; 6 – контроллер; 7 – процессор; 8 – блок индикации

**Figure 1** – Functional diagram of the measuring device: 1 – object; 2 – micro-displacements block; 3 – digital microscope; 4 – the optical system of the microscope; 5 – photo-detector matrix; 6 – controller; 7 – processor; 8 – indicator

Из приведенного выражения следует, что сканирование осуществляется по горизонтали и вертикали, что компенсирует возможное отклонение перемещения объекта от горизонтальной линии. По положению максимального значения нормированной корреляционной функции (1) определяют сдвиг между изображениями в пикселях  $\Delta x_A = x'_1 - x_1$ . Дальность  $R_A$  до выделенной точки А объекта определяется из выражения:

$$R_A = \frac{f \cdot L}{\omega_x \cdot \Delta x_A}, \quad (2)$$

где  $L$  – перемещение объекта по горизонтали,  $f$  – фокусное расстояние фотокамеры,  $\omega_x$  – расстояние между чувствительными элементами фотоприемной матрицы по горизонтали. Аналогичным образом определяется расстояние  $R_B$  до точки В объекта, имеющей координаты на первом и втором снимках  $x_2$  и  $x'_2$  соответственно. По положению максимального значения корреляционной функции (1) определяют сдвиг между изображениями  $\Delta x_B = x'_2 - x_2$ , а дальность  $R_B$  до точки В определяется из выражения:

$$R_B = \frac{f \cdot L}{\omega_x \cdot \Delta x_B}. \quad (3)$$

По разности расстояний до указанных точек исследуемого объекта (точка А и точка В) определяется высота профиля поверхности объекта  $\Delta R = R_B - R_A$ .

Устройство позволяет измерять линейные размеры индивидуальных особенностей следа (микрорельефа) на исследуемом объекте между указанными точками. Это осуществляется следующим образом. Определив значение расстояния до  $i$ -го объекта измерения  $R_i$  и размеры этого объекта (расстояние между указанными точками) на фотоприемной матрице, ширина измеряемого объекта  $D_i$  и высота  $H_i$  определяются из выражений:

$$H_i = \frac{R_i \cdot y_i}{f}, \quad D_i = \frac{R_i \cdot x_i}{f}, \quad (4)$$

где  $x_i, y_i$  – размеры измеряемого объекта (расстояние между точками) на фотоприемной матрице по горизонтали и вертикали соответственно.

Система также обеспечивает измерение угла наклона следов нарезов на пулях относительно ее

продольной оси. Выражение для определения угла наклона нареза  $\alpha$  имеет следующий вид:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \right), \quad (5)$$

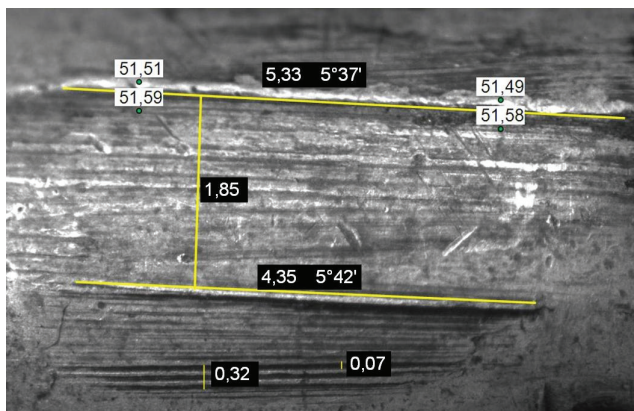
где  $X_1, Y_1$  – координаты на фотоприемной матрице начальной точки нареза;  $X_2, Y_2$  – координаты конечной точки нареза.

Корреляционная обработка изображений в соответствии с алгоритмом (1) позволяет определить сдвиг между изображениями  $\Delta x$  исследуемого объекта на матрице с точностью до одного чувствительного элемента (пикселя). Для уточнения величины сдвига  $\Delta x$  в субпиксельном диапазоне используется билинейная интерполяция сигнала с заданным шагом, алгоритм которой приведен в [18]. Применение субпиксельной интерполяции обеспечивает разрешение при определении сдвига  $\Delta x$  на величину, равную менее десятой доли пикселя, что значительно повышает точность измерения размерных параметров. Знать точное значение расстояния между чувствительными элементами фотоприемной матрицы и значение фокусного расстояния объектива устройства фотосъемки нет необходимости, поскольку данные значения можно определить в процессе калибровки системы по эталонному объекту.

Для реализации корреляционной методики измерения параметров и высот профиля следов нарезов на пулях было разработано программное приложение на языке объектно-ориентированного программирования C++. На экране монитора отображается лишь первое изображение из полученной стереопары. Интерфейс приложения включает в себя следующие пользовательские элементы: информационную строку; общие инструменты (открыть, сохранить, очистить); функциональные инструменты (выделение, перемещение, удаление), калибровка камеры; переключение режима просмотра: включить/выключить отображение подписей расстояний, включить/выключить отображение второго изображения стереопары; прокрутка и масштабирование области изображения. Приложение позволяет пользователю определять дальность до выделенных точек элементов следа на исследуемом объекте, значение расстояния между указанными точками, линейные размеры как исследуемого следа, так и объекта исследования, а также углы наклона нарезков относительно ее продольной оси.



На рисунке 2 приведен пример работы системы в ходе измерения параметров следов полей нарезов, отобразившихся на пуле, по цифровому стереоизображению.



**Рисунок 2** – Результаты измерения линейных и угловых параметров профиля следа нареза канала ствола на пуле патрона 7,62 x 25 мм (расстояния в миллиметрах)

**Figure 2** – The measurement results of linear and angular parameters of the rifling profile trace of the barrel on the bullet 7,62 x 25 mm (the distances in millimeters)

Цифрами на белом фоне показаны расстояния до выбранных точек объекта измерения на фотографии, точками отмечены выбранные элементы объекта измерения, до которых устанавливается искомое расстояние. По разности расстояний до точек объекта можно определить глубину профиля следа нареза на пуле. Например, для точки, расположенной в левой части снимка на расстоянии  $R = 51,51$  мм, высота профиля следа составляет 80 мкм ( $\Delta R = 51,59 - 51,51 = 0,08$  мм), а для точки на расстоянии  $R = 51,49$  мм в правой части снимка, высота профиля следа составляет 90 мкм ( $\Delta R = 51,58 - 51,49 = 0,09$  мм). Белыми цифрами на черном фоне показаны расстояния между выбранными точками в миллиметрах и углы наклона следов к продольной оси пули в градусах. Например, ширина следа нареза на пуле составляет 1,85 мм, а длина следов от «боевой» и «холостой» граней нареза составляют 5,33 и 4,35 мм, соответственно. Углы наклона указанных следов относительно продольной оси пули равны  $5^\circ 37'$  и  $5^\circ 42'$ , соответственно. На снимке также отображены результаты измерения расстояний между отдельными валиками и бороздками (их группами), отобразившимися в первичном следе поля нарезов канала ствола, расстояние между которыми составляет 320 и 70 мкм.

## Оптимизация сравнения изображений оттисков печатей и штампов с использованием корреляционной обработки

Для расширения функциональных возможностей, повышения качества, достоверности и наглядности проводимых исследований по сравнению цвето-тоновых параметров изображений оттисков печатей и штампов (ОПШ) была разработана соответствующая компьютерная система на основе применения метода корреляционного анализа. Предлагаемый процесс цифровой обработки ОПШ предусматривает: фиксацию изображения путем сканирования (регистрация изображения); применение алгоритмов обработки, предусмотренных используемым ПО (преобразование изображения); сохранение данных с последующей экспертной интерпретацией полученных результатов (анализ данных изображения).

Сканирование как способ регистрации изображений позволяет получать цифровые модели ОПШ, максимально соответствующие реальной действительности по своим геометрическим, топографическим и колористическим характеристикам [4]. Кроме того, устройство планшетных сканеров обеспечивает высокую стабильность освещения по сравнению с обычной фотографией, позволяет исключить проблемы фокусировки, а также минимизирует влияние «сбивающих» факторов при регистрации изображений. Формат хранения изображений может быть различным (*JPEG*, *TIFF*, *PXC*, *PNG*, *BMP* и др.). Одним из наиболее корректных форматов является несжатый растровый графический формат *TIFF*. Проведенные экспериментальные исследования показали, что значение корреляционной функции для новой печати в формате *JPEG* составляет порядка 0,998, а для формата *TIFF* – 0,999993. Это свидетельствует о том, что для проведения экспертных исследований целесообразно использовать документы в формате *TIFF*, т.к. он дает более высокую эффективность проведения исследований по сравнению с *JPEG* форматом.

Этап преобразования изображений можно условно разделить на две стадии: предварительную, которая заключается в приведении сравниваемых изображений в соответствие определенным критериям для проведения дальнейшего исследования; и основную, предусматривающую непосредственный попиксельный анализ изображений. Предварительная обработка может быть осуществле-

на путем использования программного продукта «Adobe Photoshop» [2, 4], наиболее распространенного для технико-криминалистических исследований документов (включая исследование ОПШ).

Основная стадия этапа преобразования изображений заключается в непосредственном сравнении цифровых моделей исследуемых оттисков, используя алгоритмы корреляционного типа [19]. Для реализации корреляционной методики анализа степени совпадения двух изображений было разработано программное приложение (далее – ПП) на языке объектно-ориентированного программирования C++ (далее – ПП «CIPSS», от англ. *Comparing Images of Prints of Seals and Stamps*). Вид интерфейса разработанного программного приложения представлен на рисунке 3. Интерфейс ПП «CIPSS» имеет два синхронизированных рабочих окна. Левое окно предназначено для ввода исследуемого изображения, т.е. изображения, чьи цвето-тоновые характеристики подлежат непосредственному изучению (установлению), а правое – для ввода изображения-эталона, т.е. изображения, посредством параметров которого происходит установление степени совпадения (различия).

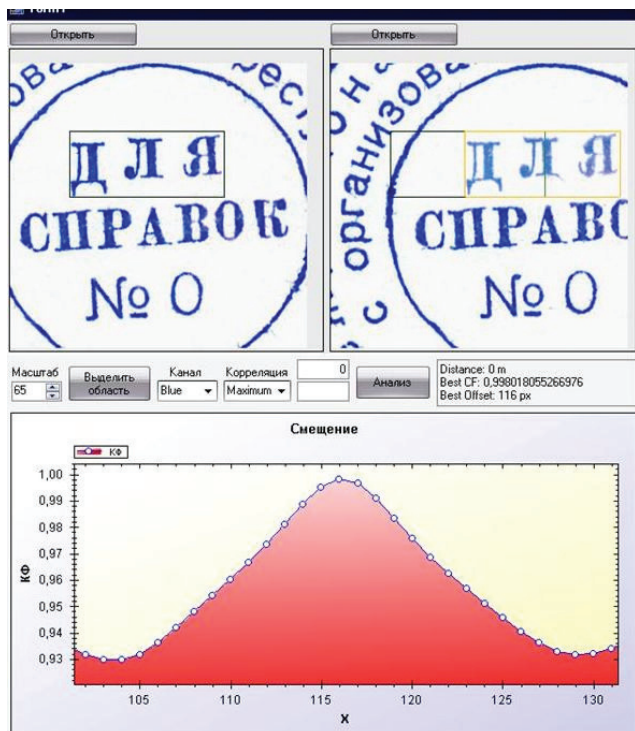


Рисунок 3 – Вид интерфейса ПП «CIPSS»

Figure 3 – Interface software application «CIPSS»

Интерфейс приложения обеспечивает выполнение следующих пользовательских функций: из-

менение размера изображений в окне «Масштаб»; выбор вида корреляционной функции (КФ) в зависимости от необходимости получения конкретных результатов, отражающих либо степень совпадения изображений (вкладка «Maximum»), либо степень их различия (вкладка «Minimum»); определение спектрального диапазона анализа в окне «Канал». Выбор цветового канала позволяет получать наиболее точное значение КФ отдельно в красном, зеленом и синем участках спектра, а также в их суммарном диапазоне. Поскольку процесс нанесения ОПШ на поверхность документа сопряжен с наличием факторов, влияющих на качество отображения ОПШ (перекос, нажим, неравномерная подложка и пр.), при исследовании двух оттисков (для проведения корреляционного анализа) возникает необходимость правильного выбора сравниваемых областей, отвечающих принципу сопоставимости. Выполнение данной задачи реализуется при помощи вкладки «Выделить область», функцией которой является обеспечение ручного выделения исследуемой области в левом окне.

Производство непосредственно корреляционного анализа цвето-тоновых параметров изображений обеспечивает активация вкладки «Анализ». Осуществление указанной функции достигается путем вычисления значения двумерной нормированной КФ между выделенными фрагментами изображений, отражающей степень совпадения изображений (вкладка «Maximum») в соответствии с выражением (1). Для определения степени различия выделенных изображений (вкладка «Minimum») используется нормализованная сумма квадратов разностей вида:

$$R(\Delta u, \Delta v) = \sum_{x,y} \left[ \frac{(I_1(x, y) - \bar{I}_1)}{\sqrt{\sum_{x,y} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)^2}} - \frac{(I_2(x + \Delta u, y + \Delta v) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y} (I_2(x + \Delta u, y + \Delta v) - \bar{I}_2)^2}} \right]^2, \quad (6)$$

$$\bar{I}_n = \frac{\sum_{x,y} I_n(x, y)}{x_{max} y_{max}},$$

где  $I_1$  – сигнал исследуемого изображения;  $I_2$  – сигнал эталонного изображения;  $x_{max}, y_{max}$  – размер сканирующего окна;  $\bar{I}_1, \bar{I}_2$  – средние значения сигнала в первом и втором окне сканирования;  $\Delta x, \Delta y$  – сдвиг по горизонтали и вертикали соответственно,  $n = 1, 2$ . Нормированная кросс-корреляция (1), (6) применима в случае, когда одно изображение отличается от другого не только относительным сдвигом, но и подвержено монотонному амплитудному преобразованию.

Так как при получении изображений возможно различие взаимного положения эталонного и исследуемого оттисков, то для максимальной эффективности анализа используется сканирование одного окна изображения относительно другого по горизонтали и по вертикали. Каждую итерацию второе окно сдвигается на 1 пиксель в системе координат изображения и вычисляется соответствующее значение КФ. График зависимости значения КФ от сдвига между рабочими окнами в пикселях представлен в диалоговом окне «Смещение», где по оси  $X$  отображается смещение в пикселях, а по оси  $Y$  – значение КФ. При выборе вида используемой КФ необходимо, чтобы она была нормированная, что позволяет устранить влияние различия яркости и контрастности в первом и втором окнах на точность измерений.

Результат проведенного корреляционного анализа отображается в диалоговом окне справа от вкладки «Анализ». Если выделенные фрагменты изображения полностью совпадают, то значение КФ будет близко к единице, например 0,99983. Отклонение значения КФ от величины 0,99 является характеристикой степени совпадения колористических параметров эталонного и исследуемого изображений. Величина 0,99 выбрана в качестве максимально значения КФ, т.к. даже при сравнении изображения самого с собой за счет дискретности анализа и влияния «шумов» будут наблюдаться минимальные различия.

Применение ПП «CIPSS» является одним из этапов цифровой обработки ОПШ, а полученные результаты корреляционного анализа колористических характеристик изображений требуют соответствующей экспертной интерпретации [1, 7]. Кроме того, исследуемые параметры должны быть доступны и просты для понимания лицам, не обладающим специальными познаниями в данной области. В этой связи был разработан алгоритм преобразования результатов исследования ОПШ, получаемых при помощи ПП «CIPSS». Данный алгоритм реализуется посредством выражения (7), целью применения которого является определение в процентном соотношении показателя совпадения цвето-тоновых параметров сравниваемых изображений ОПШ на основе значения КФ:

$$P_c = \frac{K_{max}}{1 - K^1}, \quad (7)$$

где  $P_c$  – показатель совпадения;  $K_{max}$  – максимальное значение КФ (постоянная величина, равная

0,99);  $K^1$  – рабочее значение КФ, полученное в ходе анализа изображений ОПШ. Наиболее типичные результаты исследования цифровых моделей ОПШ посредством применения ПП «CIPSS», имеют следующее значение: при  $K^1 = 0,99$ ,  $P_c \approx 99$  %; при  $K^1 = 0,98$ ,  $P_c \approx 49,5$  ; при  $K^1 = 0,97$   $P_c \approx 33$  %. С криминалистической точки зрения, значение КФ не менее 0,99 свидетельствует о полном совпадении колористических характеристик исследуемых изображений, значение КФ равное 0,98 может свидетельствовать о вероятном совпадении либо различии (вероятность составляет примерно 50 %), значения же КФ 0,97 и ниже свидетельствуют о значительном различии исследуемых характеристик.

## Заключение

Предложены и обоснованы принципы использования корреляционной обработки цифровых изображений объектов экспертного исследования для решения таких задач криминалистики, как сравнение цвето-тоновых параметров изображений оттисков печатей и штампов и измерение параметров следов полей нарезов канала ствола на стреляных пулях.

Разработана методика и создано программное приложение, предназначенное для получения линейных, угловых и высотных характеристик профиля (микрорельефа) следов полей нарезов канала ствола оружия, отобразившихся на пуле в процессе выстрела, для проведения судебно-баллистических экспертиз. Приложение позволяет пользователю определять дальность до выделенных точек элементов следа на исследуемом объекте с разрешением  $\sim 10$  мкм, значение расстояния между указанными точками, линейные размеры как исследуемого следа, так и объекта исследования (погрешность  $\sim 10$  мкм), а также углы наклона нарезков относительно ее продольной оси (погрешность  $\sim 0,01$ ). Разработанная система позволяет получить необходимую точность проводимых измерений исследуемых объектов, уменьшить трудо-временные затраты и перечень применяемого измерительного оборудования. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой эффективности работы программного приложения. Наглядность полученных результатов, повышает достоверность и репрезентативность выводов криминалистических экспертиз.

Разработана методика и создано специализированное программное приложение для сравнительного анализа цвето-тоновых характеристик



изображений оттисков печатей и штампов, отражающее степень и характер распределения красящего вещества в штрихах, что повышает наглядность и объективность экспертиз, а также позволяет сократить сроки их проведения. Использование математических алгоритмов корреляционной обработки позволяет получать высокоточные и достоверные результаты, близкие практически к предельным значениям.

Разработана методика преобразования полученных цифровых данных в криминалистически значимую информацию, алгоритм работы которой позволяет осуществлять интерпретацию в процентном соотношении показателя совпадения цвето-тоновых параметров сравниваемых изображений ОПШ. Достоверность полученных значений подтверждается экспериментальными исследованиями и была проверена при помощи других методов. Разработанная методика может явиться полезным инструментом для решения диагностических и идентификационных экспертных задач, а в совокупности с другими методами исследования расширить и круг вопросов по установлению тождества оттисков удостоверительных печатных форм, что позволит повысить эффективность и качество экспертных методик.

## Список использованных источников

1. Яблоков, Н.П. Криминалистика: природа, система, методологические основы / Н.П. Яблоков, А.Ю. Голвин. – М. : НОРМА, 2009. – 288 с.
2. Вандер, М.Б. Применение научно технических средств при расследовании преступлений. – СПб., 2000. – 60 с.
3. Зубаха, В.С. Видовая классификация компьютерно-технической экспертизы / В.С. Зубаха, А.И. Усов // Экспертная практика. – М. : ЭКЦ МВД РФ, 2000. – № 48.
4. Булгаков, В.Г. Компьютерные технологии в криминалистической фотографии / В.Г. Булгаков, С.М. Колотушкин. – Волгоград, 2000. – 164 с.
5. Sutton, M.A. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements / M.A. Sutton, J.-J. Ortu, H. Schreier. – University of South Carolina, Columbia, SC, USA, 2009. – 364 p.
6. Thorsten, S. Crompton. Application of High Speed Digital Image Correlation for Vibration Mode Shape Analysis / S. Thorsten, J. Crompton Matt // Proceedings of the SEM Annual Conference June 7–10, 2010. – Indianapolis, Indiana USA.

7. Im, J. Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation / J. Im, J.R. Jensen, J.A. Tullis // International Journal of Remote Sensing. – Vol. 29, no. 2. – 20 January 2008. – P. 399–423.

8. Okhandiara, R.R. Neighborhood correlation image analysis technique for change detection in forest landscape / R.R. Okhandiara, P.L.N. Rajub, W. Bijkerk // The International Archives of the 95 Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Vol. XXXVII. – Part B8. – Beijing 2008.

9. Бардаченко, А.Н. Особенности проведения линейных и угловых измерений следов полей нарезков на выстрелянных пулях с использованием современного микроскопического оборудования / А.Н. Бардаченко // Известия Саратовского университета. Новая серия Сер. Экономика. Управление. Право. – Т. 14, Вып. 1, ч. 2. – 2014. – С. 216–218.

10. Brown, Myron Z. Advances in Computational Stereo / Myron Z. Brown, Darius Burschka, Gregory D. Hager // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – Vol. 25, no. 8. – 2003. – P. 993–1008.

11. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski // Springer. – 2010. – 957 p.

12. Хорн, Б. Зрение роботов. Мир / Б. Хорн. – 1989. – 487 с.

13. Wang, S. A stereo video segmentation algorithm combining disparity map and frame difference / S. Wang, X. Wang, H. Chen // 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering. – Vol. 1. – 2008. – P. 1121–1124.

14. Ackermann, F. Digital image correlation – performance and potential application in photogrammetry / F. Ackermann // Photogram Rec. – 1984. – Vol. 11, 64. – P. 429–439.

15. William, H. Press Numerical recipes in C: the art of scientific computing / H. Press William / H. William // Cambridge University Press, 2nd ed. – 1995. – 994 p.

16. Optical distance measurement device using image sensors for determining distance to symmetric objects: patent №5432594 US, МКИ5 G 01 C 3/00 / Kenhi Ogasawa. – № 1118544; Filing Date: 26.08.1993; Issue Date: 11.07.1995.

17. Измеритель расстояний на цифровой фотокамере для криминалистических экспертиз: пат. 8572 Респ. Беларусь, МКИ G 01 C 3/00 / В.Л. Козлов, И.А. Мороз, А.С. Рубис. – 2012.

18. Козлов, В.Л. Субпиксельная обработка изображений для измерения дальности на основе цифровой фотокамеры / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1(4). – С. 115–120.

19. Устройство для сравнения цифровых изображений оттисков печатей и штампов для криминалистических экспертиз: пат.10722 Респ. Беларусь, МКИ G 01 C 3/00 / В.Л. Козлов, А.С. Рубис, Р.М. Ропот. – 2015.



# Correlation processing of digital optical images for solving criminalistic problems

Kozlov V.L., Vasilchuk A.S.

Belarusian State University,  
Nezavisimosty Ave., 4, Minsk, 220030, Belarus

Received 17.09.2015

Accepted for publication 30.10.2015

**Abstract.** The correlation processing of optical digital images of expert research objects is promising to improve the quality, reliability and representativeness of the research. The development of computer algorithms for expert investigations by using correlation analysis methods for solving such problems of criminology, as a comparison of color-tone image parameters impressions of seals and stamps, and measurement of the rifling profile trace of the barrel on the bullet is the purpose of the work. A method and software application for measurement of linear, angular and altitude characteristics of the profile (micro relief) of the rifling traces of the barrel on the bullet for judicial-ballistic tests is developed. Experimental results testify to a high overall performance of the developed program application and confirm demanded accuracy of spent measurements. Technique and specialized program application for the comparison of color-tone image parameters impressions of seals and stamps, reflecting degree and character of painting substance distribution in strokes has been developed. It improves presentation and objectivity of tests, and also allows to reduce their carrying out terms. The technique of expert interpretation of correlation analysis results has been offered. Reliability of the received results has been confirmed by experimental researches and has been checked up by means of other methods.

**Keywords:** digital image, color-tone image parameters, correlation processing, sub-pixel interpolation.

---

**Адрес для переписки:**

Козлов В.Л.  
Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220050, г. Минск, Беларусь  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

**Address for correspondence:**

Kozlov V.L.  
Belarusian State University,  
Nezavisimosty Ave., 4, Minsk, 220050, Belarus  
e-mail: KozlovVL@bsu.by

---

**Для цитирования:**

Козлов В.Л., Васильчук А.С.  
Применение корреляционной обработки цифровых оптических изображений для решения задач криминалистики  
Приборы и методы измерений  
2015. – Т. 6, № 2. – С. 220–229

**For citation:**

Kozlov V.L., Vasilchuk A.S.  
Correlation processing of digital optical images for solving criminalistic problems  
Devices and Methods of Measurements  
2015, vol. 6, No. 2, pp. 220–229

## References

1. Yablokov N.P. *Kriminalistika: priroda, sistema, metodologiceskiye osnovy* [Criminalistics: the nature, system, methodological bases]. Moscow, Norma Publ., 2009, 288 p.
2. Vandler M.B. *Primeneniye nauchno-tekhnicheskikh sredstv pri rassledovanii prestyplenij* [Application of scientific and technical tools in the investigation of crimes]. St. Peterburg., 2000, 60 p.
3. Zubaha V.S., Ysov A.I. Species classification of computer-technical expertise. *Ekspertnaya praktika. Moscow, EKC MVD RF*, no. 48, 2000 (in Russian).
4. Bulgakov V.G., Kolotushkin S.M. *Kompyuterniye tekhnologii v kriminalisticheskoy fotografii* [Computer technologies in criminalistics photography]. Volgograd, 2000, 164 p.
5. Sutton M.A., Ortu J.-J., Schreier H. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. University of South Carolina, Columbia, SC, USA, 2009, 364 p.
6. Thorsten Siebert, Matt J. Crompton. Application of High Speed Digital Image Correlation for Vibration Mode Shape Analysis. *Proceedings of the SEM Annual Conference June 7-10, 2010, Indianapolis, Indiana USA*.
7. Im J., Jensen J.R. and Tullis J.A. Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, no. 2, 20 January 2008, pp. 399–423.
8. Okhandiara R.R., Rajub P.L.N., Bijkerk W. Neighborhood correlation image analysis technique for change detection in forest landscape. *The International Archives of the 95 Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVII, part. B8, Beijing 2008.
9. Bardachenko A.N. Features of the linear and angular measurements of the rifling traces on the bullets using modern microscopic equipment. *News of Saratov University. New series. Ser. Economy. Management. Law*. vol. 14, no. 1, h. 1, 2014, pp. 216–218 (in Russian).
10. Myron Z. Brown, Darius Burschka, Gregory D. Hager. Advances in Computational Stereo. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 25, no. 8, 2003, pp. 993–1008.
11. Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010, 957 p.
12. Horn B. *Robot vision*. MIT. Press Cambridge, MA, 1986, 503 p.
13. Wang S., Wang X., Chen H. A stereo video segmentation algorithm combining disparity map and frame difference *3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering*, vol. 1, 2008, pp. 1121–1124.
14. Ackermann F. Digital image correlation – performance and potential application in photogrammetry. *Photogrammetria*, 1984, vol. 11, 64, pp. 429–439.
15. William H. Press Numerical recipes in C: the art of scientific computing. *Cambridge University Press*, 2nd ed., 1995, 994 p.
16. Kenhi Ogawa. Optical distance measurement device using image sensors for determining distance to symmetric objects. Patent US, no. 5432594, 1995.
17. Kozlov V.L., Moroz I.A., Rybis A.S. *Izmeritel' rasstoyanii na cifrovoj fotokamere dlya kriminalisticheskikh ekspertiz* [Distances measuring instrument on a digital camera for criminalist examinations]. Patent BY, no. 8572, 2012.
18. Kozlov V.L., Vasilchuk A.S. Sub pixel image processing for distance measurement on the base of digital camera // *Pribory i metody izmerenij*. 2012, no. 1 (4), pp. 115–120 (in Russian).
19. Kozlov V.L., Rybis A.S., Ropot R.M. *Ustrojstvo dlya sravneniya cifrovyykh izobrazhenij ottiskov pechatej i shtampov dlya kriminalisticheskikh ekspertiz* [The device for comparing of digital prints images of seals and stamps for criminal examinations]. Patent BY, no. 10722, 2015.