

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 681.786

ВАСИЛЬЧУК
Алексей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ
ИЗМЕРИТЕЛЕЙ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ
СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.11.07 –
оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Минск 2017

Работа выполнена в Белорусском государственном университете

Научный руководитель: Козлов Владимир Леонидович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры квантовой радиофизики и оптоэлектроники Белорусского государственного университета

Официальные оппоненты: Мухуров Николай Иванович, профессор, доктор технических наук, заведующий лабораторией микро- и наносенсорики Государственного научно-производственного объединения «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Жарин Анатолий Лаврентьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-измерительной техники и технологий Учреждения образования “Белорусский национальный технический университет”

Оппонирующая организация: Научно-исследовательское учреждение “Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко” (НИИ ПФП БГУ)

Защита состоится 21 июня 2017 г. в 14³⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 01.05.03 при Государственном научном учреждении «Институт физики имени Б.И.Степанова Национальной академии наук Беларуси» по адресу 220072, г.Минск, пр.Независимости, 68, к.218, e-mail: v.kalinov@ifanbel.bas-net.by, тел. 284-17-33.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке им.Я.Коласа НАН Беларуси по адресу 220072, г.Минск, ул.Сурганова, 15.

Автореферат разослан « » мая 2017 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
доктор физико-математических наук

В.С.Калинов

ВВЕДЕНИЕ

Применение корреляционной обработки цифровых изображений объектов экспертного исследования является перспективным направлением повышения качества и достоверности проводимых исследований. В настоящее время цифровая фотосъемка почти полностью вытеснила традиционную пленочную в следственной практике, а ее возможности недостаточно используются для решения стоящих перед правоохранительными органами задач. Возможность измерения расстояний по анализу цифровых изображений места происшествия позволила бы существенно повысить оперативность и качество фиксации следов совершенного преступления.

Выпускаемые измерительные комплексы для криминалистических исследований имеют ограниченный диапазон измеряемых расстояний (до 60 м), невысокую точность измерений (1 – 3 %), что в большинстве случаев недостаточно, и требуют использования «мерного» объекта, располагаемого в измеряемой зоне, что неудобно в эксплуатации и ограничивает функциональные возможности. Следовательно, разработка методик повышения точности измерения расстояний на основе анализа цифрового стереоизображения и создание соответствующей измерительной аппаратуры является актуальной задачей.

В криминалистической литературе отмечается, что техника исследования пуль, гильз и огнестрельного оружия в целях его идентификации отстает от возможностей, которые может обеспечить современное развитие техники. Одним из параметров, определение которого до настоящего времени представляло значительную сложность, является измерение глубины профиля (микрорельефа) следов полей нарезов канала ствола на выстрелянных пулях.

Другой важной задачей криминалистических исследований является изучение цвето-тоновых параметров цифровых изображений оттисков печатей и штампов, в частности, получение информации, отражающей характер распределения красящего вещества в штрихах, степень старения любого фрагмента печати с максимально высокой точностью и достоверностью. При этом нерешенной задачей является преобразование полученных цифровых данных в криминалистически значимую информацию.

Представленная диссертационная работа посвящена решению упомянутых выше задач, связанных с разработкой методик и аппаратуры для проведения криминалистических исследований на основе корреляционной обработки стереоизображений, обеспечивающих повышение оперативности фиксации следов преступления и необходимую точность измерений. Это обеспечит уменьшение трудовременных затрат и перечня применяемого измерительного оборудования, что позволит повысить эффективность и качество криминалистических экспертиз.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами.

Тема диссертационной работы соответствует подразделам 6.5 «Физические основы и разработка лазерных, оптико-электронных технологий и приборов», 11.4 «Теоретические и прикладные основы эффективного функционирования национальной правовой системы в контексте приоритетов социально-экономического развития Республики Беларусь», 12.1 «Физические и математические методы и их применение для решения актуальных проблем естествознания, техники, новых технологий, экономики и социальных наук» перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19 апреля 2010 г.; подразделам «оптоэлектроника и оптические системы», «технологии и системы электронной идентификации», «перспективные средства и технологии обеспечения национальной безопасности и обороноспособности» перечня приоритетных направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 22.04.2015 №166.

Диссертационная работа соответствует научному направлению кафедры квантовой радиофизики и оптоэлектроники Белорусского государственного университета и выполнялась в рамках научно-исследовательских проектов в 2011–2016 гг.:

«Разработка методов и систем лазерной локации, локального контроля неоднородных аэродисперсных сред на основе корреляционной спектрофелометрии» ГКПНИ «Электроника и фотоника» (шифр 2.1.07.1), № госрегистрации 20115601, 2011–2015 гг.;

«Разработка информационно-измерительных интеллектуальных устройств на основе цифровой обработки оптических изображений для роботизированных систем различного функционального назначения» ГКПНИ «Фотоника, опто- и микроэлектроника» (шифр 2.3.03), № госрегистрации 20162101, 2016–2020 гг.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: разработка методик повышения точностных характеристик систем измерения расстояний и размерных параметров объектов на основе корреляционной обработки стереоизображений, создание экспериментального образца измерительной системы для решения задач криминалистики и разработка методик проведения криминалистических исследований.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– провести анализ современных принципов построения систем измерения расстояний на основе корреляционной обработки изображений;

– проанализировать влияние на точность измерений дестабилизирующих факторов, таких как искажения, вносимые оптической системой камеры; непараллельность оптических осей объективов; взаимный наклон фотоприемных матриц; отклонение от горизонтальной линии положения камер стереопары; а также, разработать методики устранения их влияния;

– проанализировать возможности использования функций, реализующих корреляционную обработку, для измерения дальности и размерных параметров объектов по цифровым изображениям; разработать методику снижения вычислительных затрат; разработать методику определения положения максимального значения корреляционной функции с точностью в сотые доли пикселя;

– с использованием разработанных методик повышения точностных характеристик создать систему измерения размерных параметров объектов на основе анализа стереоизображения для криминалистических исследований, обладающую точностью, более высокой чем у известных аналогов;

– разработать методики проведения криминалистических исследований на основе корреляционной обработки цифровых изображений для решения таких задач криминалистики, как анализ цвето-тоновых параметров изображений оттисков печатей и штампов, измерение параметров следов, отобразившихся на пулях и гильзах в процессе выстрела.

Научная новизна

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в следующем:

– разработаны, практически реализованы и экспериментально подтверждены методики повышения точностных характеристик измерителей расстояний на основе корреляционного анализа стереоизображений, которые заключаются в компенсации искажений, вызванных непараллельностью оптических осей объективов, взаимным наклоном фотоприемных матриц, а так же искажений, вносимых оптической системой стереокамеры; в нахождении положения экстремума корреляционной функции с субпиксельной точностью; в оптимизации размера окна сканирования; в разработке алгоритма вычисления нормированной кросс-корреляционной функции, обеспечивающего уменьшение времени расчета;

– разработано программное приложение, реализующее упомянутые методики повышения точностных характеристик при измерении дальности, размерных параметров объектов, углов наклона линий; обеспечивающее измерение разности координат объекта на изображениях стереопары с неопределенностью в

сотые доли пикселя, контроль достоверности результата измерений; позволяющее работать со всеми типами цифровых фотокамер;

– создан дальномер на основе корреляционной обработки стереоизображений, позволяющий измерять дальность до всех объектов на цифровом изображении, а также расстояние до мнимых изображений объектов на зеркальных поверхностях с разрешением в единицы миллиметров;

– обеспечена возможность измерения глубины неровностей рельефа следов полей нарезов канала ствола на стреляных пулях с микронным разрешением по цифровому изображению при проведении судебно-баллистических экспертиз;

– разработана методика проведения криминалистических исследований цвето-тоновых характеристик изображений оттисков печатей и штампов, позволяющая получить в цифровом виде информацию о характере распределения красящего вещества в штрихах и степени старения любого фрагмента печати, а также методика преобразования полученных цифровых данных в криминалистически значимую информацию.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методики повышения точностных характеристик систем измерения расстояний и размерных параметров объектов на основе корреляционной обработки стереоизображений:

– методика компенсации искажений, вносимых оптической системой стереокамеры, непараллельностью оптических осей объективов, взаимным наклоном фотоприемных матриц, заключающаяся в использовании при вычислении дальности экспериментально определенных полиномов, компенсирующих упомянутые искажения в зависимости от координат объекта на фотоприемных матрицах стереокамеры;

– алгоритм уменьшения времени вычисления нормированной кросскорреляционной функции, основанный на уменьшении числа вычислительных процедур за счет использования результатов предыдущей итерации, обеспечивающий выигрыш по времени до 10 раз;

– методика повышения точности определения положения экстремума корреляционной функции, заключающаяся в интерполяции интенсивности изображения в окрестности экстремума корреляционной функции, полученного на этапе грубой оценки с точностью в один пиксель, последующем корреляционном сканировании с шагом, равным $h = 1/k$ пикселя и уточнении положения экстремума параболическим методом интерполяции, обеспечивающая точность измерений в сотые доли пикселя.

2. Измеритель расстояний на основе корреляционной обработки стереоизображений и цифровой 3D-фотокамере для решения задач криминалистики,

реализующий разработанные методики повышения точностных характеристик, позволяющий измерять дальность, расстояния между объектами, линейные размеры объектов на цифровом изображении с относительной неопределенностью 0,1%, что в 10 раз превосходит известные аналоги.

3. Методика проведения криминалистических исследований характеристик микрорельефа следов полей нарезов канала ствола оружия, отобразившихся на пуле в процессе выстрела, основанная на получении стереоизображения объекта исследования с помощью одного объектива и координатного стола микроперемещения и последующем анализе стереоизображения, обеспечивающая измерение глубины следа и его линейных размеров с разрешением ~ 10 мкм, а также углов наклона нарезов с разрешением $\sim 0,01'$.

4. Методика проведения криминалистических исследований оттисков печатей и штампов, основанная на корреляционной обработке выделенных фрагментов изображений эталонного образца и исследуемого оттиска, позволяющая в цифровом виде получить информацию о характере распределения красящего вещества в штрихах, степени старения любого фрагмента печати и преобразовать полученные данные в криминалистически значимую информацию, что повышает объективность экспертиз и позволяет сократить сроки их проведения.

Личный вклад соискателя

Приведенные в диссертации теоретические и экспериментальные результаты по разработке методик повышения точностных характеристик измерительной системы, разработке и созданию программного приложения и макетного образца, реализующего упомянутые методики, получены лично соискателем. Постановка задач, анализ и интерпретация полученных результатов, разработка методик проведения криминалистических исследований для измерения параметров следов полей нарезов канала ствола на стреляных пулях и измерения цвето-тоновых параметров изображений оттисков печатей проведены вместе с научным руководителем В.Л.Козловым. Экспериментальная проверка и реализация разработанных методик выполнена совместно с А.С.Рубисом, Р.М.Ропотом и Е.А.Лаппо на кафедре криминалистических экспертиз Академии МВД РБ.

Апробация результатов диссертации

Изложенные в диссертационной работе результаты докладывались на следующих конференциях:

научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета (Минск, 2012);

международная НТК “Приборостроение” (Минск, 2011, 2015);

международная НТК “Лазеры. Измерения. Информация” (Санкт-Петербург, 2012, 2013);

международная НТК “Информационные технологии в промышленности” (Минск, 2012);

международная НТК “Квантовая электроника” (Минск, 2013, 2015);

международная НТК “Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии” (Новороссийск, 2014, 2015).

Программно-аппаратный комплекс «БИЗАНЬ» был апробирован на кафедре криминалистических экспертиз Академии МВД РБ (заключение об апробации от 26.02.2016 г.), в Государственных комитетах судебных экспертиз г.Минска и РБ (заключение об апробации ГКСЭ РБ от 03.06.2016 г.), (заключение об апробации ГКСЭ по г. Минску от 20.05.2016 г.) и рекомендован к включению в Реестр судебно-экспертных методик ГКСЭ РБ (справка о разрешении к применению от 06.10.2016 г.).

Методика и программное приложение для проведения криминалистических исследований цвето-тоновых характеристик изображений оттисков печатей и штампов использована на кафедре криминалистических экспертиз Академии МВД РБ (акт внедрения от 10.06.2016 г.) и рекомендована к включению в Реестр судебно-экспертных методик ГКСЭ РБ (выписка из протокола заседания Межведомственного совета №2(10) от 29.06.2016 г.)

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы отражены в 22 публикациях, в том числе в 6 статьях (общим объемом 5,1 авторских листа) в рецензируемых научных журналах, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 11 статьях в сборниках трудов конференций, 2 тезисах докладов конференций. Получен 1 патент РБ на изобретение и 2 патента РБ на полезные модели.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 4 оригинальных глав, заключения и библиографического списка из 183 наименований, включая 22 собственные публикации соискателя. Объем диссертации составляет 131 страницу, включая 100 страниц основного текста с 44 иллюстрациями и библиографический список с приложениями на 31 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит литературный обзор, в котором проведен анализ современных методов построения систем измерения расстояний на основе корреляционной обработки изображений, а также возможностей использования

корреляционного анализа для решения ряда других задач криминалистических исследований. В результате анализа обоснована актуальность проводимой работы и выявлены задачи, требующие решения.

Во второй главе приводятся принципы измерения дальности и размерных параметров объектов по цифровым стереоизображениям на основе использования корреляционной обработки. Связь координат объекта $\mathbf{N} (X, Y, Z)$ в пространстве с координатами в плоскости изображения $\mathbf{Q} = (h, p, 1)$ можно выразить через постоянную матрицу \mathbf{K} , которая называется *калибровочной*

$$\mathbf{ZQ}=\mathbf{KN}, \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} f/\omega_x & 0 & h_0 \\ 0 & f/\omega_y & p_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где h_0, p_0 – координаты центра фотоприемника, f – фокус, ω_x и ω_y – размер пикселя вдоль строк и столбцов.

Для определения расстояния Z используется стереоскопическая система. Дальность до объекта Z и координаты объекта в пространстве X, Y из геометрии изображений определяются из соотношений:

$$Z = \frac{fL}{x' - x''}, \quad X = \frac{L(x' + x'')}{2(x' - x'')}, \quad Y = \frac{L(y' + y'')}{2(x' - x'')}, \quad (2)$$

где (x', y') и (x'', y'') – координаты объекта в плоскости изображения на первом и втором снимках стереопары, соответственно, L – величина базы. Зная координаты точек A и B , можно оценить расстояния между ними D , а зная дальность до i -того объекта Z_i , можно определить его ширину B_i и высоту H_i

$$D = \sqrt{(Z_A - Z_B)^2 + (X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}, \quad H_i = \frac{Z_i \cdot y_i \cdot \omega_y}{f}, \quad B_i = \frac{Z_i \cdot x_i \cdot \omega_x}{f}, \quad (3)$$

где x_i, y_i – размеры этого объекта на фотоприемной матрице в пикселях по горизонтали и вертикали.

Разработана методика учета погрешности, обусловленной непараллельностью оптических осей фотокамер стереопары и отклонением от горизонтальной линии положения камер стереопары, при этом выражение для расчета дальности до объекта приобретает вид

$$Z = \frac{f \cdot L}{\omega_x \cdot (\Delta x - \Delta X)} \cos \left(\arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} \right), \quad (4)$$

где ΔX – сдвиг по горизонтальной оси между изображениями объекта за счет непараллельности оптических осей, $\Delta x = (x' - x'')$, $\Delta y = (y' - y'')$.

Проведен анализ теоретической неопределенности разработанной методики измерения расстояний, обусловленной неопределенностью измерения положения экстремума корреляционной функции при сканировании изображений стереопары в соответствии с выражением

$$\Delta Z = \frac{Z^2 \omega_x}{2fL + Z\omega_x}. \quad (5)$$

Получено, что для камеры Fujifilm FinePix REAL 3D при разрешении 0,02 пикселя и базе 7,5 см на расстояниях до 75 м достигается погрешность измерения менее 6 см при фокусном расстоянии объектива 18,9 мм. Для камеры Canon EOS 450D с объективом Canon EF 75-300 mm погрешность измерения составляет 10 см на расстояниях порядка 1 км.

Третья глава посвящена разработке методик и алгоритмов повышения точностных характеристик системы измерения дальности на основе корреляционного анализа цифрового изображения. Проведен анализ функциональных возможностей и областей применения функций NCC, SSD, NSSD, SAD, реализующих корреляционную обработку цифровых изображений, а также RANK-метода. На рисунке 1 представлены зависимости времени обработки и процента ошибок корреляционных методов для разных размеров окон сканирования при измерении дальности до всех объектов на изображении.

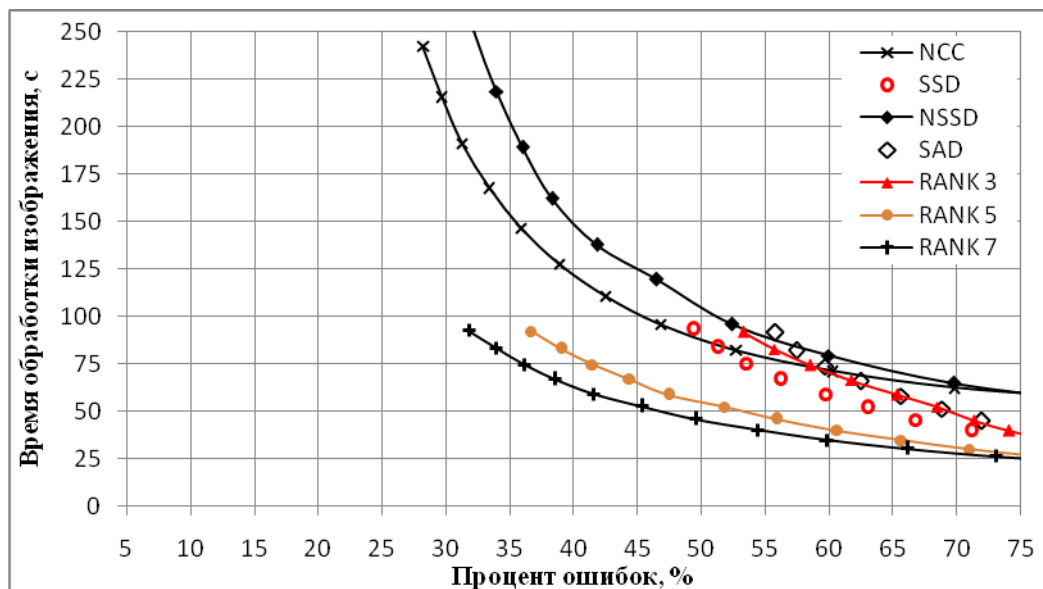


Рисунок 1. – Время обработки и процент ошибок корреляционных методов с разными размерами окна сканирования при наличии шумов и искажении одного из изображений стереопары

Получено, что наиболее эффективной для практического применения при решении задачи измерения расстояний является функция NCC, которая обладает наибольшей устойчивостью к воздействию шумов и изменению яркости одного из изображений стереопары.

Проведен анализ неопределенности измерения положения экстремума корреляционной функции в субпиксельном диапазоне для методик на основе алгоритмов центра масс, параболического и гауссова, результаты которого представлены в таблицах 1, 2. Получено, что параболический алгоритм субпиксельной оценки положения экстремума является наиболее универсальным, так как одинаково хорошо работает как в задачах оценки положения как максимума (NCC), так и минимума (NSSD) функций, при этом среднеквадратическая неопределенность измерений составляет 6%.

Таблица 1. Результаты анализа неопределенности субпиксельной интерполяции для функции NCC. Величины отклонений представлены в пикселях.

	Алгоритм интерполяции		
	центр масс	параболический	гауссов
ср. откл. по модулю	0,224533	0,056691	0,056772
дисперсия	0,011721	0,000257	0,000186
макс. отклонение по модулю по всему полю данных	0,561597	0,215587	0,215837

Таблица 2. Результаты анализа неопределенности субпиксельной интерполяции для функции NSSD. Величины отклонений представлены в пикселях.

	Алгоритм интерполяции		
	центр масс	параболический	гауссов
ср. откл. по модулю	0,615477	0,054405	0,113914
дисперсия	0,120106	0,000257	0,005232
макс. отклонение по модулю по всему полю данных	1,233278	0,215587	0,275442

Разработана методика определения положения экстремума корреляционной функции, обеспечивающая неопределенность измерений в сотые доли пикселя, состоящая из двух этапов. На первом этапе в окрестности точки экстремума корреляционной функции, полученного с точностью в один пиксель, строится сетка ячеек, соответствующих узлам интерполяции интенсивности с шагом равным $h = 1/k$ пикселя ($k = 5 \dots 20$). Интенсивность узла сетки вычисляется из выражения

$$I(x + ih, y + jh) = (1 - ih)(1 - jh) \cdot I(x, y) + (1 - jh)ih \cdot I(x + 1, y) + (1 - ih)jh \cdot I(x, y + 1) + ijh^2 \cdot I(x + 1, y + 1), \quad (6)$$

где i, j – горизонтальный и вертикальный индексы узла соответственно; $I(x, y)$ – интенсивность пикселей изображения. После этого осуществляется повторное сканирование, и вычисляются значения корреляционной функции для k^2 узлов сетки. Затем производится уточнение положения максимума корреляционной функции при помощи параболической интерполяции между узлом сетки с наибольшим значением интенсивности I_m и координатой x_m и его соседними уз-

лами со значениями интенсивности I_{m+1} и I_{m-1} , и координатами x_{m+1} и x_{m-1} в соответствии с выражением

$$\Delta x = \frac{1 (x_{m+1}^2 - x_m^2)(I_m - I_{m-1}) + (x_m^2 - x_{m-1}^2)(I_m - I_{m+1})}{2 (x_{m+1} - x_m)(I_m - I_{m-1}) + (x_m - x_{m-1})(I_m - I_{m+1})}. \quad (7)$$

Такая последовательность операций обеспечивает неопределенность измерений в сотые доле пикселя.

Проведено исследование влияния предварительной фильтрации изображений КИХ-фильтрами на вид корреляционной функции, результаты которого представлены на рисунке 2. Получено, что в зависимости от параметров фильтра можно обеспечить или максимальное значение корреляционной функции для зашумленных изображений (фильтр *a*), или максимальную крутизну экстремума корреляционной функции (фильтр *d*) для повышения точности измерений.

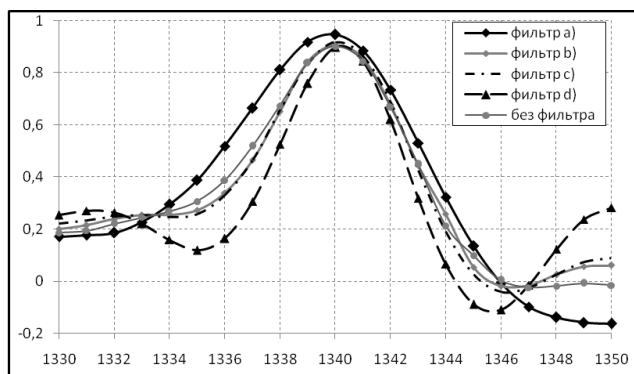


Рисунок 2. – Вид функций NCC при различной предварительной фильтрации

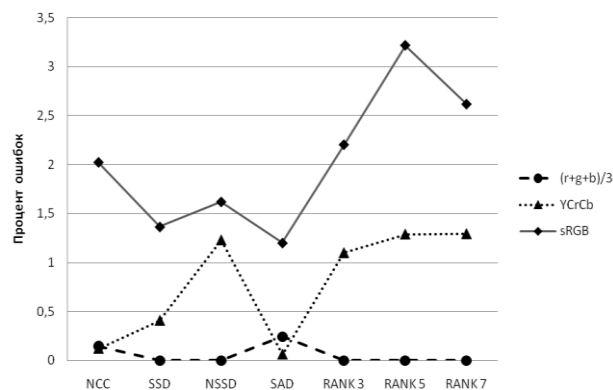


Рисунок 3. – Процент измерительных ошибок, связанных с выбором методики получения карты яркостей

Проведены исследования методики смещения цветовых каналов при измерении расстояний по стереоизображению, результаты которых представлены на рисунке 3. Получено, что для рассмотренных видов функций, реализующих корреляционный анализ, использование равномерного смещения каналов ведет к минимизации общего числа измерительных ошибок. Использование Y-канала из пространства YCbCr будет оправдано при построении карты глубины совместно с функцией SAD. Функция NCC показывает одинаковые результаты, как при использовании равномерного смещения, так и при извлечении Y-канала. Извлечение яркости, как ее воспринимает человеческий глаз, ведет к увеличению числа ошибок для любого из рассмотренных методов корреляционной обработки.

Разработана методика выбора размера окна сканирования, заключающаяся в вычислении дискретных градиентов изображения объекта с использованием фильтра Собела и последующем формировании размера окна сканирования на

основании анализа контрастных переходов, обеспечивающая повышение достоверности измерений и ускорение расчета контрастных участков изображения. Зависимость числа ошибок измерения дальности до всех объектов на изображении от размера окна сканирования представлена на рисунке 4.

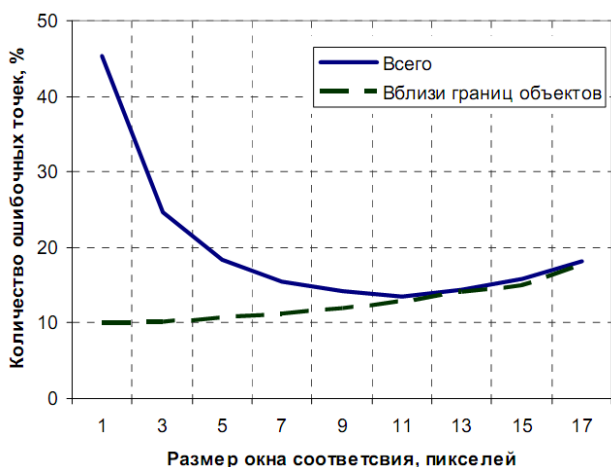


Рисунок 4. - Зависимость числа ошибок измерения дальности от размера окна сканирования

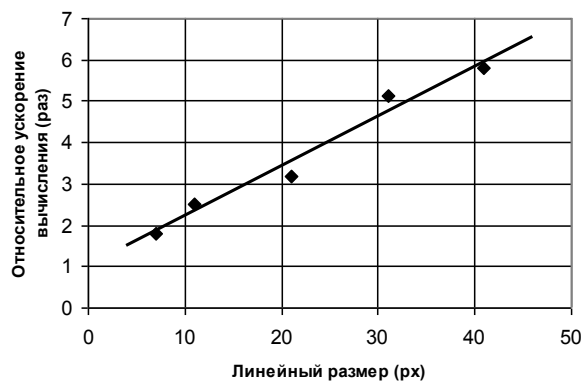


Рисунок 5. - Зависимость увеличения скорости вычислений от размера окна сканирования

Разработан алгоритм вычисления нормированной кросскорреляционной функции, позволяющий уменьшить число вычислительных процедур, что было достигнуто путем преобразования функции NCC к виду:

$$R(\Delta u, \Delta v) = \frac{\sum_{x,y} I_1(x,y) I_2(x + \Delta u, y + \Delta v) - \frac{\sum_{x,y} I_1(x,y) \sum_{x,y} I_2(x + \Delta u, y + \Delta v)}{\Delta x \cdot \Delta y}}{\sqrt{\left[\sum_{x,y} I_1^2(x,y) - \frac{\left(\sum_{x,y} I_1(x,y) \right)^2}{\Delta x \cdot \Delta y} \right] \left[\sum_{x,y} I_2^2(x + \Delta u, y + \Delta v) - \frac{\left(\sum_{x,y} I_2(x + \Delta u, y + \Delta v) \right)^2}{\Delta x \cdot \Delta y} \right]}}, \quad (8)$$

где I_1 – сигнал окна сканирования первого изображения; I_2 – сигнал окна сканирования второго изображения; $\Delta x, \Delta y$ – размер сканирующего окна по горизонтали и вертикали; $\Delta u, \Delta v$ – смещение одного окна сканирования относительно другого по горизонтали и вертикали соответственно. При использовании результатов предыдущей итерации, алгоритм обеспечивает выигрыш по времени до 10 раз в зависимости от размеров окна сканирования. Результаты исследования зависимости увеличения скорости вычислений от размера окна сканирования представлены на рисунке 5.

Были проведены экспериментальные исследования оптических искажений объективов фотокамеры Fujifilm FinePix Real 3D, результаты которых представлены на рисунке 6, где по вертикальной оси приведена величина оптических искажений в пикселях, а в горизонтальной плоскости координаты точки на

фотоприемной матрице.

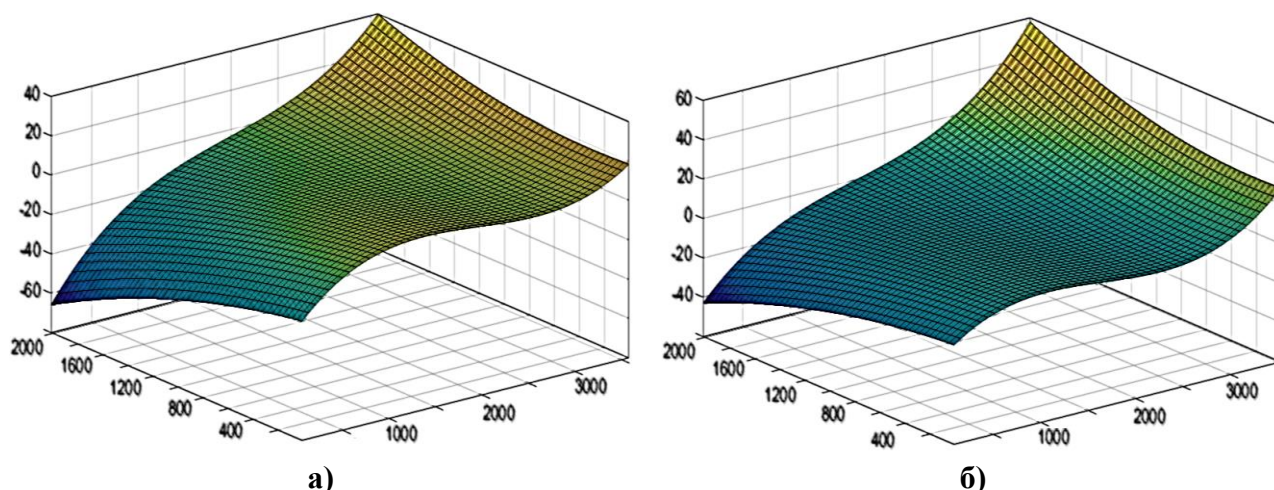


Рисунок 6. - X-компоненты оптических искажений для левого (а) и правого (б) объективов камеры Fujifilm FinePix Real 3D

Предложена методика компенсации искажений, вносимых оптической системой стереокамеры, которая осуществляется с помощью нелинейного полинома

$$P = \sum_{n,m,k} \left(P_{n0}x^n + P_{0m}y^m + P_{k_1k_2}x^{k_1}y^{k_2} \right), \quad (9)$$

где P_{n0} , P_{0m} , $P_{k_1k_2}$ – экспериментально определенные калибровочные коэффициенты; $n, m = 1 \div 3$; $k_1, k_2 = 1 \div 2$; x, y – координаты точки измерений на фотоприемной матрице. Экспериментально определенные полиномы, компенсирующие искажения оптической системы первого P' и второго P'' объективов стереокамеры Fujifilm FinePix Real 3D, имеют вид:

$$P' = -12,1738 + 3,90 \cdot 10^{-2} \cdot x - 2,68 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 5,37 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - \\ - 5,07 \cdot 10^{-3} \cdot y - 5,68 \cdot 10^{-6} \cdot y^2 + 2,59 \cdot 10^{-10} \cdot y^3 + \quad , \quad (10) \\ + 5,85 \cdot 10^{-7} \cdot xy + -1,51 \cdot 10^{-10} \cdot x^2y + 4,49 \cdot 10^{-9} \cdot xy^2$$

$$P'' = -22,3481 + 5,38 \cdot 10^{-2} \cdot x - 3,00 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 5,07 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - \\ - 1,02 \cdot 10^{-2} \cdot y - 6,36 \cdot 10^{-6} \cdot y^2 - 1,96 \cdot 10^{-10} \cdot y^3 + \quad . \quad (11) \\ + 5,51 \cdot 10^{-6} \cdot xy + -1,83 \cdot 10^{-11} \cdot x^2y + 4,04 \cdot 10^{-9} \cdot xy^2$$

Необходимо отметить, что значениями коэффициентов полинома порядка 10^{-10} нельзя пренебрегать, так как они находятся при переменных в третьей степени, а величины x и y могут иметь значение $\sim (3 \div 4) 10^3$.

В четвертой главе приводится описание пассивного дальномера для решения задач криминалистики, созданного на основе цифровой 3D-фотокамеры и программного приложения с применением разработанных методик корреляци-

онной обработки изображений. В качестве аппаратной части дальномера используется серийно выпускаемая 3D фотокамера Fujifilm FinePix Real 3D W3, представленная на рисунке 7. Камера имеет два съемочных объектива с базой 75 мм, фокусным расстоянием 6,3-18,9 мм, с двумя матрицами 1/2.3" размером 3648x2736 пикселей (10 мегапикселей). На рисунке 8 представлена экспериментальная относительная неопределенность измерений.



Рисунок 7. – 3D-фотокамера Fujifilm FinePix Real 3D

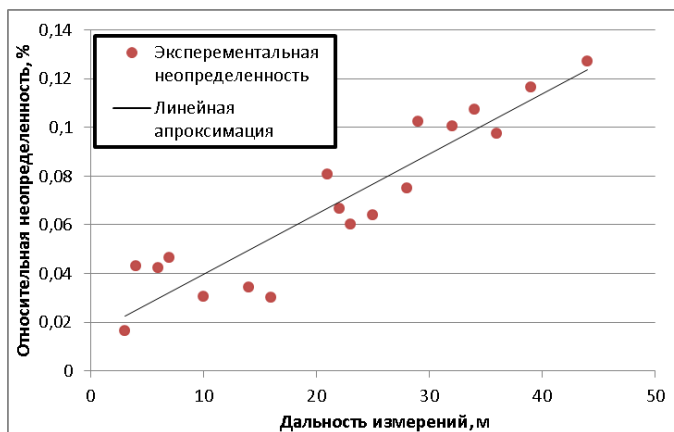


Рисунок 8. – Экспериментальная относительная неопределенность дальномера

Расчетная формула для определения дальности до объекта имеет вид:

$$R = \frac{K \cdot \cos\left(\arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}\right)}{(\Delta x - \Delta X + P' - P'')}, \quad K = \frac{f \cdot b}{\omega_x}, \quad (12)$$

где K – аппаратная константа измерительной системы; f – фокус оптической системы, b – база съемки; ω_x – размер пикселя по горизонтали; Δx – сдвиг между изображениями объекта по горизонтальной оси; Δy – сдвиг между изображениями объекта по вертикальной оси; ΔX – сдвиг по горизонтальной оси между изображениями объекта за счет непараллельности оптических осей объективов; P' , P'' – полиномы, компенсирующие оптические искажения стереокамеры.

Разработана методика определения аппаратной константы измерительной системы K и параметра ΔX по двум объектам, находящимся на известных расстояниях, не требующая точного знания фокуса камеры, базы съемки и размера пикселя. Аппаратные константы измерительной системы K и ΔX определяются из выражений:

$$\Delta X = \frac{R_2 \cdot \Delta x_2 - R_1 \cdot \Delta x_1}{R_2 - R_1}, \quad K = R_1(\Delta x_1 - \Delta X), \quad (13)$$

где R_1 , R_2 – дальность до первого и второго калибровочных объектов; Δx_1 , Δx_2 – сдвиги между изображениями первого и второго калибровочных объектов.

Разработано программное приложение, реализующее предложенные методики повышения точностных характеристик, обеспечивающее измерение дальности до всех объектов на цифровом изображении, расстояний между объектами, линейных размеров объектов и углов наклона линий на изображении, а также индикацию достоверности результата измерений.

Дальномер обладает следующими отличительными особенностями:

- не требует наличия в кадре мерного объекта;
- обеспечивает измерение дальности, расстояния между объектами, линейных размеров всех объектов на цифровом изображении;
- относительная неопределенность измерений составляет 0,1% на расстояниях до 30 м и 0,3% на расстояниях до 100 м, что более чем в 10 раз превосходит известные аналоги.

Проведены экспериментальные исследования возможностей дальномера для решения задач криминалистики в различных диапазонах измерения расстояний.

Разработана методика измерения линейных, угловых и высотных характеристик микрорельефа следов полей нарезов канала ствола оружия, отобразившихся на пуле в процессе выстрела, для проведения судебно-баллистических экспертиз, основанная на получении стереоизображения объекта исследования с помощью одного объектива и координатного стола и последующей корреляционной обработке стереоизображения. На базе разработанной методики был создан программно-аппаратный комплекс «БИЗАНЬ», обеспечивающий измерение глубины следа и его линейных размеров с разрешением ~ 10 мкм, а также углов наклона нарезов с разрешением $\sim 0,01'$. Пример работы комплекса при исследовании параметров следов нарезов на пуле приведен на рисунке 9.

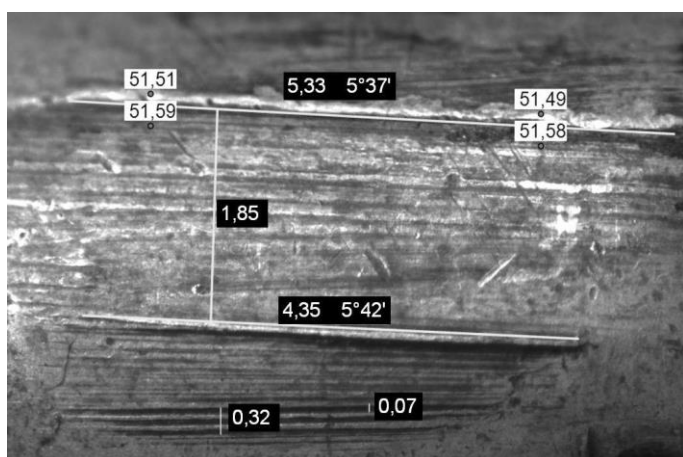


Рисунок 9. – Результаты измерения профиля следов на пуле патрона 7,62 x 25 мм (в миллиметрах)

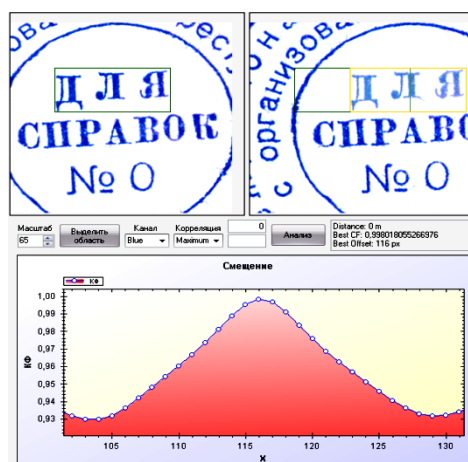


Рисунок 10. – Вид интерфейса программного приложения для исследований оттисков печатей

Разработана методика и создано программное приложение для проведения криминалистических исследований цвето-тоновых характеристик изображений

оттисков печатей и штампов, интерфейс которого представлен на рисунке 10. Методика, основанная на корреляционной обработке цифровых изображений выделенных фрагментов эталонного образца и исследуемого оттиска, позволяет получить информацию о характере распределения красящего вещества в штрихах и степени старения печати в цифровом виде, а так же преобразовать полученные данные в криминалистически значимую информацию, что повышает наглядность и объективность экспертиз, а также позволяет сократить сроки их проведения.

Полученные экспериментальные данные (акты апробации, рецензия) свидетельствуют о высокой эффективности работы созданных программных приложений для проведения криминалистических исследований. Наглядность полученных результатов повышает достоверность, эффективность и качество экспертных методик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика измерения дальности и размерных параметров объектов по цифровым стереоизображениям на основе корреляционной обработки изображений с определением положения экстремума корреляционной функции в субпиксельном диапазоне. Разработана методика калибровки измерительной системы по объектам, находящимся на известных расстояниях, не требующая точного знания фокуса камеры, базы съемки и размера пикселя на фотоприемной матрице. Проведен анализ абсолютной неопределенности разработанной методики измерений, показавший, что для камеры FujifilmFinePixREAL 3D при разрешении 0,02 пикселя и базе 7,5 см на расстояниях до 75 м неопределенность измерения составит менее 6 см при фокусе объектива 18,9 мм, а для камеры Canon EOS 450D с объективом Canon EF 75-300 mm – 10 см на расстояниях порядка 1 км [1-А, 4-А, 7-А, 9-А, 21-А].

2. Проведен анализ функциональных возможностей и областей применения функций NCC, SSD, NSSD, SAD, реализующих корреляционную обработку цифровых изображений, а также RANK-метода для использования в измерителях расстояний на основе анализа стереоизображения. Получено, что наиболее эффективной для практического применения при решении указанной задачи является функция NCC, которая обладает наибольшей устойчивостью к воздействию шумов и изменению яркости одного из изображений стереопары [13-А].

3. Проведен анализ точности определения положения экстремума корреляционной функции в субпиксельном диапазоне для методик на основе алгоритмов центра масс, параболического и гауссова. Получено, что параболический алгоритм субпиксельной оценки положения экстремума обладает минимальной неопределенностью измерений и является наиболее универсальным, так как оди-

наково хорошо работает в задачах оценки положения как максимума (NCC), так и минимума (NSSD) функций, при этом среднеквадратическое отклонение составляет 6% [6-А, 8-А, 16-А].

4. Проведены исследования возможностей использования интегрального представления изображений и различных методик смешения цветовых каналов при измерении расстояний по стереоизображению. Получено, что для рассмотренных видов корреляционных функций использование равномерного смешения каналов ведет к минимизации общего числа измерительных ошибок. Использование Y-канала из пространства YCbCr будет оправдано при построении карты глубины совместно с функцией SAD. Интегральное представление изображения позволяет добиться ускорения корреляционной обработки, однако данный метод целесообразно применять для вычисления карты глубины на изображениях небольшого размера. Для обработки изображений размером более 0.5 мегапикселя необходимо увеличивать размер целочисленных переменных, что существенно повышает затраты оперативной памяти, используемой для работы [17-А, 18-А].

5. Разработаны методики повышения точностных характеристик систем измерения расстояний и размерных параметров объектов на основе корреляционной обработки стереоизображений:

- предложена методика компенсации искажений, вносимых оптической системой стереокамеры, непараллельностью оптических осей объективов, взаимным наклоном фотоприемных матриц, заключающаяся в использовании при вычислении дальности экспериментально определенных полиномов, компенсирующих упомянутые искажения в зависимости от координат объекта на фотоприемных матрицах стереокамеры [6-А, 13-А, 19-А];

- разработан алгоритм уменьшения времени вычисления нормированной кросскорреляционной функции, основанный на уменьшении числа вычислительных процедур за счет использования результатов предыдущей итерации, обеспечивающий выигрыш по времени до 10 раз в зависимости от размеров окна сканирования [4-А, 11-А, 21-А];

- разработана методика повышения точности определения положения экстремума корреляционной функции, заключающаяся в интерполяции интенсивности изображения в окрестности экстремума корреляционной функции, полученного на этапе грубой оценки с точностью в один пиксель, последующем корреляционном сканировании с шагом, равным $h = 1/k$ пикселя, где k – целое число ($k \in [5,10]$), и уточнении положения экстремума корреляционной функции параболическим методом интерполяции, обеспечивающая неопределенность измерений в сотые доли пикселя [1-А, 6-А, 8-А];

- предложена методика использования фильтрации изображений перед корреляционной обработкой с использованием КИХ-фильтров, обеспечиваю-

шая в зависимости от параметров фильтра либо увеличение значения корреляционной функции для зашумленных изображений, либо сжатие корреляционной функции для повышения точности измерений [12-А];

– разработана методика выбора размера окна сканирования, заключающаяся в вычислении дискретных градиентов изображения объекта с использованием фильтра Собела и последующем формировании размера окна сканирования на основании анализа контрастных переходов, обеспечивающая повышение достоверности измерений и ускорение расчета контрастных участков изображения [14-А].

6. Разработано программное приложение, реализующее предложенные методики повышения точностных характеристик, обеспечивающее измерение разности координат объекта на изображениях стереопары с неопределенностью в сотые доли пикселя, индикацию достоверности результата измерений и позволяющее работать со всеми типами цифровых фотокамер [1-А, 4-А, 10-А, 11-А].

7. Разработан и создан дальномер на основе цифровой 3D-фотокамеры, корреляционной обработки стереоизображений и разработанного программного приложения для решения задач криминалистики, не требующий наличия в кадре мерных объектов, обеспечивающий измерение дальности до всех объектов на цифровом изображении, расстояний между объектами, линейных размеров объектов и углов наклона линий на изображении, имеющий относительную неопределенность измерений 0,1%, что более чем в 10 раз превосходит известные аналоги [4-А, 18-А, 20-А].

8. Разработана методика измерения линейных, угловых и высотных характеристик микрорельефа следов полей нарезов канала ствола оружия, отобразившихся на пуле в процессе выстрела, для проведения судебно-баллистических экспертиз, основанная на получении стереоизображения объекта исследования с помощью одного объектива и координатного стола и последующей корреляционной обработке стереоизображения. На базе разработанной методики создан программно-аппаратный комплекс «БИЗАНЬ», обеспечивающий измерение глубины следа и его линейных размеров с разрешением ~ 10 мкм, а также углов наклона нарезков с разрешением ~ 0,01' [2-А, 3-А, 16-А, 22-А].

9. Разработана методика и создано программное приложение для проведения криминалистических исследований цвето-тоновых характеристик изображений оттисков печатей и штампов. Разработанная методика основана на корреляционной обработке выделенных фрагментов цифровых изображений эталонного образца и исследуемого оттиска и позволяет получить информацию о характере распределения красящего вещества в штрихах и степени старения любого фрагмента печати в цифровом виде, а так же преобразовать полученные данные в криминалистически значимую информацию [5-А, 15-А].

Разработанные системы позволяют получить необходимую точность проводимых измерений объектов криминалистических исследований, уменьшить трудовременные затраты и перечень применяемого измерительного оборудования. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой эффективности работы созданных программных приложений и измерительных комплексов.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Основные результаты диссертационной работы нашли практическое применение:

Дальномер на цифровой фотокамере Fujifilm FinePix Real 3D W3 был использован в ООО “Международный Центр Экспертизы” для проведения криминалистических исследований места происшествия с использованием 3D-фотокамеры (акт внедрения от 10.09.2012 г.).

На кафедре криминалистических экспертиз Академии МВД РБ внедрена методика и программное приложение для проведения криминалистических исследований цвето-тоновых характеристик изображений оттисков печатей и штампов (акт внедрения от 10.06.2016 г.).

На кафедре криминалистических экспертиз Академии МВД РБ внедрена методика и программное приложение для получения линейных, угловых и высотных характеристик микрорельефа следов полей нарезов канала ствола оружия, отобразившихся на пуле в процессе выстрела, для проведения судебно-баллистических экспертиз (акт внедрения от 10.10.2016 г.).

Совместно с кафедрой криминалистических экспертиз Академии МВД РБ разработан и создан программно-аппаратный комплекс «БИЗАНЬ» (Баллистический Измерительный АНализатор), успешно апробированный в Государственном комитете судебных экспертиз РБ (заключение об апробации ГКСЭ РБ от 03.06.2016 г.), (заключение об апробации ГКСЭ по г. Минску от 20.05.2016 г.) и рекомендованный к включению в Реестр судебно-экспертных методик ГКСЭ РБ (выписка из протокола заседания Межведомственного совета судебно-экспертной деятельности №2(10) от 29.06.2016 г., справка о разрешении к применению от 06.10.2016 г.).

Совместно с кафедрой криминалистических экспертиз Академии МВД РБ разработана и создана “Методика криминалистического исследования оттисков достоверительных печатных форм”, разрешенная к применению при производстве судебных экспертиз и рекомендованная к включению в Реестр судебно-экспертных методик ГКСЭ РБ (выписка из протокола заседания Межведомственного совета №2(10) от 29.06.2016 г.)

Результаты диссертационной работы были использованы при чтении общего курса "Оптические информационные технологии" и создании лаборатор-

ного практикума по упомянутому курсу на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ.

Разработанные измерительные системы и методики могут быть использованы не только для решения задач криминалистики, но и для решения военных задач, а также в геодезии, в строительстве, в технологических производствах для контроля размерных параметров, в робототехнике и т.п.

Список собственных публикаций соискателя

Статьи в научных журналах

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

2–А. Козлов, В.Л. Применение корреляционной обработки цифровых изображений для оптимизации процесса измерения параметров и глубины следов нарезов на пулях / В.Л. Козлов, А.С. Рубис, Е.А. Лаппо, А.С. Васильчук // Криминалистическая экспертиза. – 2015. – № 1. – С. 31–38.

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

4–А. Козлов, В.Л. Дальномер на основе цифровой 3D-фотокамеры для криминалистических исследований / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Датчики и системы. – 2015. – № 9–10. – С. 70–76.

5–А. Козлов, В.Л. Оптимизация сравнения изображений оттисков печатей и штампов с использованием корреляционной обработки / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Электроника–инфо. – 2015. – № 12. – С. 52–55.

6–А. Козлов, В.Л. Повышение точности измерений дальномером на основе цифровой фотокамеры / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Измерительная техника. – 2016. – № 4. – С. 26–29.

Материалы конференций

7–А. Козлов, В.Л. Обработка цифровых изображений для измерения дальности и размеров объектов / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Матер. 4-й Международной НТК «Приборостроение – 2011». – Минск, 2011. – С. 88–89.

8–А. Козлов, В.Л. Субпиксельная обработка изображений в дальномере на цифровой фотокамере / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Матер. 4-й Международной НТК «Приборостроение – 2011». – Минск, 2011. – С. 90–91.

9–А. Козлов, В.Л. Дальномер на основе цифровой обработки фотографических изображений / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Матер. 7-й Международной НТК «Информационные технологии в промышленности». – Минск, 2012. – С. 167–168.

10–А. Васильчук, А.С. Измеритель расстояний и размеров на основе цифровой фотокамеры // А.С. Васильчук / Сборник работ 69-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ в 3 ч. – Минск, 2013. – Ч. 1. – С. 221–224.

11–А. Васильчук, А.С. Ускоренная корреляционная обработка изображений в дальномере на цифровой фотокамере / А.С. Васильчук, В.Л. Козлов // Матер. IX Международной НТК «Квантовая электроника». – Минск, 2013. – С. 235.

12–А. Васильчук, А.С. Влияние предварительной фильтрации на вид корреляционной функции при обработке изображений / А. С. Васильчук, В. Л. Козлов // Матер. IX Международной НТК «Квантовая электроника». – Минск, 2013. – С. 236.

13–А. Васильчук, А.С. Корреляционная обработка цифровых фотографических изображений для измерения расстояний и размеров объектов / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Труды Междун. НТК «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии». – Новороссийск, 2014. – С. 87–90.

14–А. Васильчук, А.С. Оптимизация размера окна сканирования с помощью фильтра Собела в дальномере на цифровой фотокамере / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Матер. X Международной НТК «Квантовая электроника». – Минск, 2015. – С. 213.

15–А. Васильчук, А.С. Оптимизация сравнения изображений отпечатков печатей и штампов с использованием корреляционной обработки / А.С. Васильчук, В.Л. Козлов // Матер. X Международной НТК «Квантовая электроника». – Минск, 2015. – С. 214.

16–А. Козлов, В.Л. Измерение профиля и линейных характеристик микроследов на объектах с использованием корреляционной обработки цифровых изображений / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Труды Международной НТК «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии». – Новороссийск, 2015. – С. 103–106.

17–А. Васильчук, А.С. Выбор методики смещения цветовых каналов для измерения дальности по стереоизображению / А.С. Васильчук, В.Л. Козлов // Матер. 8-й Международной НТК «Приборостроение – 2015». – Минск, 2015. – С. 214–215.

Тезисы докладов на конференциях

18–А. Козлов, В.Л. Дальномер на цифровой 3D фотокамере / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук // Тезисы докл. конф. «Лазеры. Измерения. Информация – 2012». – Санкт–Петербург, 2012. – С. 135–136.

19–А. Васильчук, А.С. Коррекция параллакса при измерениях дальности на цифровой фотокамере / А.С. Васильчук, В.Л. Козлов // Тезисы докл. конф. «Лазеры. Измерения. Информация – 2013». – Санкт–Петербург, 2013. – С. 122.

Патенты

20–А. Измеритель расстояний на цифровой фотокамере: пат. 8358 Респ. Беларусь, МКИ G 01 С 3/00 / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук; заявитель Белгосуниверситет. – № u20111036; заявл. 20.12.11; опубл. 03.04.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 231.

21–А. Способ определения расстояния до объекта посредством цифровой фотокамеры: пат. 17809 Респ. Беларусь, МКИ G 01 С 3/00 / В.Л. Козлов, А.С. Васильчук; заявитель Белгосуниверситет. – № a20111773; заявл. 20.12.11; опубл. 09.09.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5. – С. 143.

22–А. Измеритель высот неровностей профиля и линейных характеристик микроследов на объектах исследования криминалистических экспертиз: пат. 10918 Респ. Беларусь, МКИ G 01 С 3/00 / В.Л. Козлов, А.С. Рубис, Е.А. Лаппо, А.С. Васильчук; заявитель Белгосуниверситет. – № u20150224; заявл. 01.07.15; опубл. 28.02.16 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1. – С. 243.

РЕЗЮМЕ

Васильчук Алексей Сергеевич

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Ключевые слова: стереопара, корреляционная обработка, цифровое изображение, предварительная фильтрация, диспаратет, дальномер, восстановление карты глубины, субпиксельная интерполяция, криминалистические исследования, измерение расстояний и размеров.

Цель работы: разработка методик повышения точностных характеристик систем измерения расстояний и размерных параметров объектов на основе корреляционной обработки стереоизображений, создание экспериментального образца измерительной системы для решения задач криминалистики и разработка методик проведения криминалистических исследований.

Методы исследования: корреляционная обработка стереоизображений, билинейная и параболическая интерполяция, субпиксельная обработка, методы математического моделирования, статистическая обработка, экспериментальные измерения.

Полученные результаты и их новизна: Разработаны методики повышения точностных характеристик систем измерения расстояний на основе корреляционной обработки стереоизображений. На основе разработанных методик создан пассивный дальномер на цифровой 3D-фотокамере для проведения криминалистических исследований, обеспечивающий измерение дальности, расстояния между объектами, линейных размеров всех объектов на цифровом изображении, имеющий относительную неопределенность измерений 0,1%. Разработаны методики проведения криминалистических исследований параметров микрорельефа следов нарезов канала ствола на пуле и оттисков печатей и штампов, основанные на корреляционном анализе цифровых изображений.

Область применения и рекомендации по использованию: Разработанные измерительные системы и методики могут быть использованы для проведения криминалистических исследований места происшествия, судебно-баллистических экспертиз, а также в геодезии, в строительстве, в технологических производствах для контроля размерных параметров, для решения военных задач.

РЭЗІЮМЭ

Васільчук Аляксей Сяргеевіч

ПАВЫШЭННЕ ДАКЛАДНАСТНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК АПТЫЧНЫХ ВЫМЯРАЛЬНІКАЎ АДЛЕГЛАСЦЯЎ І ПАМЕРНЫХ ПАРАМЕТРАЎ АБ'ЕКТАЎ НА АСНОВЕ КАРЭЛЯЦЫЙНАЙ АПРАЦОЎКІ СТЭРЭАМАЛЮНКАЎ

Ключавыя словы: стэрэапара, карэляцыйная апрацоўка, лічбавая выява, папярэдняе фільтраванне, дыспарытэт, далямер, аднаўленне карты глыбіні, субпіксельная інтэрпаляцыя, крыміналістычныя даследаванні, вымярэнне адлегласцяў і памераў.

Мэта працы: распрацоўка метадык павышэння дакладнастных характарыстык сістэм вымярэння адлегласцяў і памерных параметраў аб'ектаў на аснове карэляцыйнай апрацоўкі стэрэамалюнка, стварэнне эксперыментальнага экзэмпляра вымяральной сістэмы для вырашэння задач крыміналістыкі і распрацоўка метадык правядзення крыміналістычных даследаванняў.

Метады даследавання: карэляцыйная апрацоўка стэрэамалюнка, білінейная і парабалічная інтэрпаляцыя, субпіксельная апрацоўка, метады матэматычнага мадэлявання, статыстычная апрацоўка, эксперыментальныя вымярэнні.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны метадыкі павышэння дакладнастных характарыстык сістэм вымярэння адлегласцяў на аснове карэляцыйнай апрацоўкі стэрэамалюнка. На аснове распрацаваных метадык створаны пасіўны далямер на лічбавай 3D-фотакамеры для правядзення крыміналістычных даследаванняў, які забяспечвае вымярэнне адлегласці, адлегласці паміж аб'ектамі, лінейных памераў усіх аб'ектаў на лічбавым малюнку, мае адносную хібнасць вымярэнняў 0,1%. Распрацаваны метадыкі правядзення крыміналістычных даследаванняў параметраў мікрарэльефа слядоў нарэзаў канала ствала на пуле і адбіткаў пячатак і штампаў, заснаваныя на карэляцыйным аналізе лічбавых малюнкаў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні і вобласць прымянення. Распрацаваныя вымяральныя сістэмы і метадыкі могуць быць выкарыстаны для правядзення крыміналістычных даследаванняў месца здарэння, судова-балістычных экспертыз, а таксама ў геадэзіі, у будаўніцтве, у тэхналагічных вытворчасцях для кантролю размерных параметраў, для вырашэння ваенных задач.

SUMMARY

Alexey S. Vasilchuk

IMPROVING THE ACCURACY CHARACTERISTICS OF THE OPTICAL DISTANCES AND DIMENSIONAL PARAMETERS MEASURER BASED ON CORRELATION PROCESSING OF STEREO IMAGES

Key words: stereopair, correlation processing, digital image, pre-filtering, disparity, range finder, restoration of the depth map, sub-pixel interpolation, criminalistics research, measuring distances and sizes.

Work objective: the accuracy characteristics of distance and dimensional parameters measurement systems based on correlation processing of stereo images improving methods development, the building of experimental measuring systems for solving criminalistics problems and criminalistics research techniques development.

Research methods: stereo images correlation processing, the bilinear and parabolic interpolation, subpixel processing, mathematical modeling, statistical processing, experimental measurement.

Results and their novelty: methods of improving the accuracy characteristics of distance measurement systems based on correlation processing of stereo images were developed. The passive rangefinder on 3D digital camera for criminalistics research was created on the basis of the developed techniques. It provides a range, distance between objects, and linear dimensions measurements of all objects in a digital image and provides the relative measurement error about 0.1%. The criminalistics investigation techniques of the barrel rifling micro traces parameters on the bullets and investigation techniques of seals and stamps prints based on the digital images correlation analysis were developed.

Recommendations for practical use and application areas: The developed measuring system and methods can be used for incident place criminalistics examination, ballistic expertise, as well as in surveying, in construction, in industry process for control of dimensional parameters, for the solution of military problems.

ВАСИЛЬЧУК
Алексей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ
ИЗМЕРИТЕЛЕЙ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ
СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.11.07 –
оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Подписано в печать «16» мая 2017 г. Формат 60x84/16.

Тип бумаги – офисная. Печать офсетная.

Объем: 1,5 усл. печ. л., 1,2 уч.-изд. л.

Тираж 60 экз. Заказ № 8

Государственное научное учреждение «Институт физики
имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»
220072, г. Минск, пр. Независимости, 68.

Отпечатано на ризографе Института физики НАН Беларуси