



СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В КРИМИНАЛИСТИКЕ

Колтовой Н.А., к.ф.-м.н.

Спектральные методы применяются в судебно-медицинской экспертизе при выявлении замытых следов, а также следов, расположенных на пестрых, темных и загрязненных предметах. Отдельное направление составляет экспертиза подлинности произведений искусств (картин), когда спектральные методы позволяют выявлять фальсификацию. В статье рассматривается применение спектральных методов для экспертизы в криминалистике. Описываются различные аппаратные средства для реализации спектральных методов.

Применение спектральных методов увеличивает возможности криминалистических исследований при проведении различных видов экспертиз:

- экспертизе документов,
- идентификации различных вещественных доказательств,
- экспертизе лекарственных, наркотических и отравляющих веществ, пищевых продуктов,
- экспертизе волокон, волос, пластмассовых изделий,
- экспертизе лакокрасочных покрытий,
- экспертизе фальсификации нефтепродуктов,
- экспертизе фальсификации вино-водочных изделий,
- экспертизе драгоценных камней и изделий.

Спектральные методы применяются при проведении судебно-медицинской экспертизы: спектральное определение наличия пятен крови, спермы; выявление замытых следов крови, а также следов крови на пестрых, темных и загрязненных предметах. Спектральные методы позволяют выявить подлинность произведений искусств (картин), отсеять фальсификацию. Но эта экспертиза представляет собой отдельное направление.

ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Для криминалистических исследований обычно используются следующие спектральные диапазоны: УФ А-ультрафиолет, длинные волны (UV-A) – 320–400 нм; видимый диапазон – 400–780 нм; ближ-

SPECTRAL METHODS IN CRIMINALISTICS

Koltovoi N.A., Candidate of Physics and Mathematics

Spectral methods are applied in forensic medical examination when detecting washed out traces and traces located on multicolored, dark and dirty objects. Separate field of study is represented by the examination of works of art (paintings) authenticity when the spectral methods allow detecting the falsification. Use of spectral methods for the examination in criminalistics is considered in the article. Various hardware tools are described for the implementation of spectral methods.

Use of spectral methods expands the opportunities of forensic processing when performing the examinations of different types:

- documentation expertise;
- identification of different material evidence;
- expertise of medicinal, narcotic and poisonous substances, foodstuffs;
- expertise of fibers, hair, plastic products;
- expertise of paint-and-lacquer coatings;
- expertise of oil products falsification;
- expertise of falsification of wines and spirits;
- expertise of precious stones and jewelry.

Spectral methods are used during the forensic medical examination: spectral determination of blood, sperm stains. Detection of washed out blood traces and blood traces located on multicolored, dark and dirty objects. Spectral methods allow detecting the authenticity of works of art (paintings) eliminating the falsification. But this expertise represents the individual field of study.

PRINCIPLES OF IMPLEMENTATION OF SPECTRAL ANALYSIS METHOD

The following spectral ranges are usually used for forensic processing: UV A-ultraviolet, long waves (UV-A) – 320–400 nm; visible range – 400–780 nm; near infrared (IR) range (IR-A, Near-IR, NWIR) – 780–1400 nm [1–6].

Two main methods of spectral analysis can be marked out: point spectral analysis and two-dimensional spectral analysis. In the first case, illuminating certain point on the surface of tested object the spectrum of radiation reflected in this point is recorded. In the second case, the whole surface

ний инфракрасный (ИК) диапазон (IR-A, Near-IR, NWIR) – 780–1400 нм [1–6].

Можно выделить два основных метода спектрального анализа: точечный спектральный анализ и двумерный спектральный анализ. В первом случае, освещая некоторую точку на поверхности исследуемого объекта, регистрируют спектр отраженного в этой точке излучения. Во втором случае освещают всю поверхность объекта и затем производят фоторегистрацию (двумерная регистрация) излучения, отраженного от поверхности объекта.

Также методы спектрального анализа можно разбить на два класса: микроспектральный анализ (спектральный анализ объектов строится по наблюдениям с помощью микроскопа) и макроспектральный анализ (проводится спектральный анализ макрообъектов).

Рассмотрим метод двумерного макроспектрального анализа. Под спектральным анализом объектов в данной работе следует понимать регистрацию излучения объекта в различных спектральных диапазонах. При этом предполагается, что объект освещается стандартными источниками света (солнечное освещение, галогеновая или люминесцентная лампы). Обычно регистра-

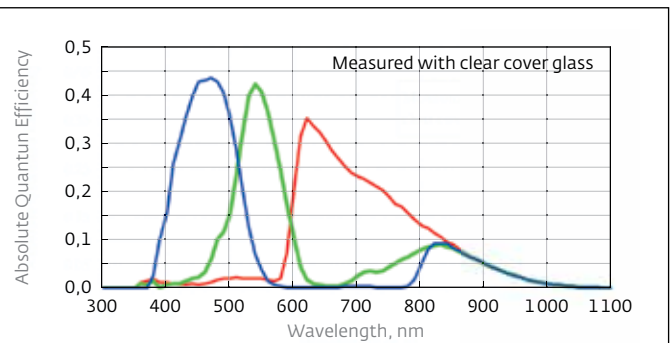


Рис.1. Спектральная чувствительность цветной цифровой камеры

Fig. 1. Spectral sensitivity of color digital camera

of object is illuminated, and then photographic recording (two-dimensional recording) of radiation reflected from the object surface is performed.

Also, the methods of spectral analysis can be divided into two classes: microspectral analysis (spectral analysis of objects is performed on the basis of observations using microscope) and macrospectral analysis (spectral analysis of macro-objects is performed).

Let us consider the method of two-dimensional macrospectral analysis. The spectral analysis

ция изображения объекта проводится с помощью цифровых фотоаппаратов. Структура чувствительной матрицы регистрирующего устройства такова, что на чувствительные элементы в шахматном порядке нанесены покрытия трех типов, пропускающие цвета в трех разных спектральных диапазонах: синем, красном и зеленом. Соответственно изображение объекта регистрируется в трех спектральных диапазонах: синем, зеленом и красном (рис.1).

Традиционно для получения изображений в различных спектральных диапазонах используют узкополосные интерференционные светофильтры. При этом создатели измерительных комплексов используют несколько схем построения приборов в зависимости от положения светофильтров в блоке источника освещения или в регистраторе изображения. Стандартный метод регистрации изображений с помощью цифрового фотоаппарата не предусматривает использования специальных светофильтров ни в источнике, ни в регистраторе.

Другой вариант схемы предполагает размещение специальных светофильтров в блоке источника освещения. Схема реализуется либо с помощью светофильтров, которые выделяют необходимый спектральный диапазон в широкополосном излучении источника света (солнечный свет, лампа), либо с помощью узкополосных излучателей (цветные светодиоды). Но для регистрации изображения желательно использовать черно-белую камеру.

В третьем варианте используют широкополосный источник излучения, а необходимый спектральный диапазон выделяют с помощью светофильтра, устанавливаемого перед регистрирующим устройством (рис.2). И в этом случае так же, как и в предыдущем, для регистрации сигнала желательно использовать черно-белую камеру.

Существует конфигурация измерительной схемы, когда светофильтры устанавливают и в блоке источника излучения, и перед регистрирующим устройством. Такая конфигурация лежит в основе построения универсальных регистрирующих комплексов, которые снабжены наборами светофильтров (рис.3).

Для регистрации мультиспектральных снимков в видимой области спектра применение обычных цифровых камер также возможно. Для регистрации изображений в УФ- и ИК-области необходимо применять специальные камеры, разработанные для регистрации изображений в соответствующих спектральных диапазонах.



Рис.2. Цифровая камера Spectrocam фирмы Pixelteq с насадкой из сменных светофильтров
Fig. 2. Digital camera Spectrocam produced by Pixelteq with the attachment of replaceable color filters

of objects in this paper means recording of object radiation within various spectral ranges. At the same time, it is assumed that the object is illuminated by standard light sources (solar illumination, halogen or fluorescent lamps). Usually recording of object image is performed with the help of digital cameras. The structure of sensing array of recording device is executed in such a way that the coatings of three types transmitting the colors in three different spectral ranges (blue, red and green) are applied in staggered order on sensing elements. Respectively, the object image is recorded within three spectral ranges: blue, green and red (Fig. 1).

Traditionally, in order to obtain images within different spectral ranges the narrow-band interference filters are used. And the designers of measurement systems use several schemes of device arrangement depending on the color filter position in the unit of illumination source or image detector. The standard method of image recording with the help of digital camera does not use the special color filters in source or detector.

Other option of the scheme provides the allocation of special color filters in the unit of illumination source. The scheme is implemented using the color filters, which emit the required spectral range in broad-band radiation of light source (sunlight, lamp), or using the narrow-band radiators (color light-emitting diodes). But in order to record the image it is desirable to use black-and-white camera.

In the third variant, broad-band light source is used, and the necessary spectral range is detected using the color filter installed in front of recording device (Fig. 2). In such case, in the same manner as



Рис.3. Различные конструкции светофильтров для выделения спектральных диапазонов.
Fig. 3. Different designs of color filters for selection of spectral ranges

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКСПЕРТИЗЫ ДОКУМЕНТОВ

Спектральный метод позволяет определить, каким способом был изготовлен исследуемый документ: с помощью технологии полиграфии, на ксероксе, на матричном принтере, на струйном, лазерном или сублимационном принтере. Для этого достаточно подвергнуть анализу структуру распределения красителя в печатных знаках.

Например, как определить подлинность печати (оригинальная печать или печать, выполненная путем сканирования и распечатки на цветном принтере). Для этого печать рассматривается под большим увеличением, что позволяет отличить оригинальную печать от печати, выполненной с помощью компьютерной верстки. Дело в том, что рисунок, полученный на компьютере, состоит



Рис.4. Фрагмент документа в отраженном видимом (слева) и в инфракрасном (справа) свете
Fig. 4. Document fragment in reflected visible (on the left) and infrared (on the right) light

in previous case, in order to record the signal it is desirable to use black-and-white camera.

There is configuration of measurement system when the color filters are installed in the unit of radiation source and in front of recording device. Such configuration is the basis of universal recording complexes which are equipped with the sets of color filters (Fig. 3).

In order to record the multispectral photographs within the visible region of spectrum, use of common digital cameras is also possible. In order to record the images within UV and IR region, it is necessary to



Рис.5. Денежная банкнота в УФ-лучах
Fig. 5. Banknote in UV rays



Рис.6. Изображение денежной купюры в видимом свете, при УФ-люминесценции и при ИК-люминесценции
Fig. 6. Image of banknote in visible light, UV luminescence and IR luminescence

из набора цветных точек. Таким образом мы видим мозаичную печать. А оригинальная печать представляет собой рисунок, состоящий из красящих частиц одного цвета.

Для выявления изменений, внесенных в документ уже после его изготовления (травление, дописка, исправление), необходимо рассмотреть изображение подозрительного фрагмента, построенное в УФ- или ИК-лучах. Исправления, внесенные позднее в документ, четко проявляются в этих диапазонах (рис.4). Спектральный метод предоставляет возможность идентифицировать состав чернил пишущей ручки. Исследование спектра отражения следа от ручки, заполненной разными по химическому составу чернилами, проводится на основе анализа написания букв.

Спектральный метод позволяет выявить наличие специальных меток, штампов, микрошрифтов и других элементов защиты на документах и ценных бумагах [7-10].

ПРИМЕНЕНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ДОКУМЕНТОВ

ИК-спектроскопия позволяет восстановить слабо видимые и залитые тексты благодаря отличию спектральных свойств разных текстовых фрагментов. Эффективность метода ИК-спектроскопии основана на том, что значения коэффициента отражения для различных материалов в ИК-области сильно различаются. Выявление скрытого текста на документах происходит за счет того, что различные типы красок различаются между собой по степени поглощения и отражения ИК-лучей. Поэтому метод используют не только для выявления стертых следов, но также для идентификации ценных бумаг. ИК-спектроскопия применяется для экспертизы денежных купюр на определение их подлинности путем визуализации графических элементов, нанесенных специальной краской.

use special cameras developed for the registration of images within the relevant spectral ranges.

SPECTRAL METHODS OF DOCUMENTATION EXPERTISE

Spectral method allows determining by which method the tested document was made: using the technology of graphic art, Xerox machine, dot-matrix printer, inkjet, laser or sublimation printer. For this purpose, it is sufficient to analyze the structure of dye distribution in printed characters.

For example, how to determine the authenticity of seal (original seal or seal applied by scanning and printing with color printer). For this purpose, the seal is examined with high-power magnification, and it allows distinguishing the original seal from the seal executed with the help of desktop publishing. The fact is that the picture obtained on computer



Рис.7. Телевизионная спектральная система "Эксперт", фирма "Растр", Великий Новгород
Fig. 7. Television spectral system "Expert", "Rastr" company, Veliky Novgorod



Рис.8. Программно-аппаратный телевизионный комплекс "Эксперт-К"
Fig. 8 Software and hardware television complex "Expert-K"

Для получения снимка объекта в ИК-лучах его освещают лампой накаливания, создавая мощный поток ИК-лучей. А перед объективом цифрового фотоаппарата размещают светофильтр, отсекающий видимый свет. Фотографирование производят при большой выдержке, чтобы получить яркий снимок.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАЛЬШИВЫХ ДЕНЕЖНЫХ КУПЮР

Конечно, самую высокую защиту денежным купюрам обеспечивают голографические знаки, нано-

consists of the set of colored dots. Thus, we see the mosaic printing. And original seal represents the picture consisting of coloring particles with the same color.

In order to determine the modifications made in the document after its execution (etching, adscript, correction), it is required to examine the image of suspicious fragment created in UV or IR beams. Corrections, which were later made in the document, are clearly seen within these ranges (Fig. 4). The spectral method grants the opportunity to identify the structure of pen ink. Examination of reflection spectrum of the trace of pen filled with the inks, which are different by the chemical structure, is performed on the basis of analysis of lettering.

The spectral method allows determining the presence of special marks, stamps, microfonts and other protection elements on documents and securities [7-10].

USE OF IR SPECTROMETRY FOR DOCUMENTATION EXPERTISE

IR spectroscopy allows restoring dimly-visible and spilled-on texts at the expense of differentiation of spectral properties of different text fragments. The efficiency of methods of IR spectroscopy is based



Рис.9. Видеоспектральный компаратор "Дистех-ВСК" фирмы "Вилдис Технологии", Москва
Fig. 9. Video spectral comparator "Distekh-VSK" produced by "Vildis Tekhnologii", Moscow



Рис.10. Docucenter 4500 многофункциональный комплекс для исследования документов. Фирма Projectina, Швейцария
Fig. 10. Docucenter 4500 multifunctional complex for documentation studies, Projectina company, Switzerland

симые на поверхность и считываемые при определенной длине волны под определенным углом обзора. Использование голопикселей демонстрирует зависимость яркости элемента стереограммы от направления наблюдения. Но нанесение голографических элементов требует использования специальных голографических принтеров. Существует довольно простой технологический метод защиты купюр, когда в состав бумажной массы, предназначенной для изготовления ценных бумаг или денежных купюр, включают специальные волокна или метки, которые при освещении

on the fact that the values of reflection factor for various materials within IR region significantly differ. Detection of hidden text on documents takes place at the expense of the fact that various types of dyes differ by the degree of absorption and reflection of IR beams. Therefore, the method is used not only for the detection of erased traces but also for the identification of securities. IR spectroscopy is used for the expertise of banknotes in order to determine their authenticity at the expense of visualization of graphic elements applied with special dye.

Сравнительные характеристики различных комплексов
 Comparative characteristics of different complexes

Параметры камеры Camera parameters	"Эксперт-К" ЗАО "ЭВС", Россия "Expert-K" CJSC "EVS", Russia	Docucenter, Projectina, Швейцария Docucenter, Projectina, Switzerland	VSC-4, Foster&Freeman, Великобритания VSC-4, Foster&Freeman, Great Britain
Изображение Image	Цветное цифровое Colored digital	Цветное Colored	Черно-белое Black-and-white
Спектральный диапазон, нм Spectral range, nm	375–1050	375–1000	375–1050
Вариообъектив, увеличение Variable-focus lens, magnification	×12	×14	×6
Число светофильтров, шт Number of color filters, pcs.	25	12	10
Регистрация видимого отраженного света Recording of visible reflected light	+	+	+
Регистрация УФ-люминесценции Recording of UV luminescence	+	+	+
Регистрация ИК-люминесценции Recording of IR luminescence	+	+	+
Стоимость, доллары США Price, US dollars	11 500	96 000	65 000

начинают люминесцировать. Известно, что спектр люминесценции сдвинут в область более длинных волн по сравнению со светом зондирующего излучения. Поэтому при облучении УФ-светом такие фрагменты начинают излучать свет в видимом диапазоне (рис.5, 6), а при облучении видимым светом – начинают излучать в ИК-диапазоне.

УФ-люминесценция применяется и для поиска следов отпечатков пальцев на гладких поверхностях путем использования подсветки с помощью УФ-лампы и для определения наличия следов пороха вокруг огнестрельного ранения на поверхности кожи.

АППАРАТУРА ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В России аппаратуру для спектральных исследований выпускают фирмы: "Растр" (Великий Новгород), "ЭВС" (Санкт-Петербург), "Спектр" (Москва), "Вилдис Технологии" (Москва) (рис.7-9).

Виды исследований, обеспечиваемые ТВ-комплексом "Эксперт-К" ЗАО "ЭВС", – это исследование характера и цвета люминесценции объектов в УФ-освещении от встроенных источников с центральной длиной волны 365 нм; спектрозональные исследования в узкополосных поддиапазонах длин



Рис.11. Телевизионная лупа "Видеомышь VM-2"
Fig. 11. Television magnifier "Videomysch VM-2"

In order to obtain the object photograph within IR rays, it is illuminated by incandescent lamp creating the intense beam of IR rays. And the color filter, which cuts off the visible light, is located in front of the lens of digital camera. Photographing must be performed with high exposure in order to obtain bright photograph.

LUMINESCENT METHODS FOR DETECTION OF COUNTERFEIT BANKNOTES

Of course, the higher level of protection of banknotes is provided by holographic marks applied on the surface and read at the certain wavelength and certain viewing angle. Use of holo-pixels demonstrates the dependence of brightness stereogram element on observation direction. But application of holographic

волн 570, 610, 645, 695, 780, 850 и 950 нм, а также с помощью 14 отрезающих светофильтров; исследование ИК-люминесценции красителей; исследование антистоксовской люминесценции.

В комплекс "Дистех-ВСК" фирмы "Вилдис Технологии" входят две специальные цифровые видеокамеры 3,2 млн. пикселей каждая, 16 источников подсветки от 254 до 940 нм, различная геометрия, 16 оптимально подобранных фильтров [11-18].

За рубежом аппаратуру для спектральных исследований выпускают фирмы: Projectina (Швейцария), Froster&Freeman (UK), MS MacroSystem (Nederland), CRAIC Technologies (США) (рис.10). Сравнение параметров аппаратов приведено в таблице.

КОМПАКТНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Некоторые фирмы выпускают компактные приборы для исследования документов в различных спектральных диапазонах. Такие приборы обычно называют видеолупа, видеомышь (рис.11-13).

В телевизионной лупе "Видеомышь ВМ-2" используются светодиодные источники света: синий (470нм), зеленый (567нм), желтый (590нм), красный (655нм), ИК (810нм). Мультирежимная цветная мегапиксельная телевизионная лупа USB 2.0 "БТП-1332" предназначена для проверки документов, банкнот и ценных бумаг на наличие и соответствие защитных признаков (рельеф, микропечать, особенности линий фоновых сеток и орнаментов, метамерность красителей, ИК-, УФ-люминесценция фрагментов и волокон и др.) с визуализацией увеличенного изображения на экране монитора.

ОБРАБОТКА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Обработка мультиспектральных изображений требует использования специального программного обеспечения. И что еще более важно, необходимы специальные методы обработки мультиспектральных изображений. Ранее такие методы применялись при обработке мультиспектральных космических снимков. Промоделировать обработку мультиспектральных данных можно с помощью программы Photoshop. Каждое цветное изображение состоит из трех монохромных изображений (каналов) – красного, зеленого, синего. При обработке изображений операции применяют одновременно ко всем трем каналам. Но с помощью функции "Изображение-Регулировка-Уровни" можно корректировать каждый канал независимо. Отдельно каналы можно просмотреть



Рис.12. Телевизионная лупа "БТП-1332"
Fig. 12. Television magnifier "BTP-1332"

elements requires the use of special holographic printers. There is quite simple technological method of banknote protection when the special fibers or marks, which begin luminesce during illumination, are included into the structure of paper stock intended for the production of securities or banknotes. It is well known that the luminescence spectrum is shifted to the region of longer waves in comparison with the light of probing radiation. Therefore, when irradiating with UV light such fragments start emitting the light within visible range (Fig. 5, 6) and in case of irradiation with visible light they start emitting within IR range.

UV luminescence is also used for the search of traces of fingerprints on smooth surfaces at the expense of illumination by UV lamp and detection of traces of gunpowder around gunshot wound on skin surface.

EQUIPMENT FOR SPECTRAL STUDIES

In Russia the equipment for spectral studies is produced by the following companies: "Rastr" (Veliky Novgorod), "EVS" (Saint Petersburg), "Spektr" (Moscow), "Vildis Tekhnologii" (Moscow) (Fig. 7-9).

Types of studies supported by TV complex "Expert-K" produced by CJSC "EVS" include studies of the character and color of luminescence of objects in UV illumination from built-in sources with the central wavelength of 365 nm; multispectral studies within narrow-band subranges of wavelengths 570, 610, 645, 695, 780, 850 and 950 nm using 14 cutting color filters; studies of IR luminescence of dyes; studies of anti-Stokes luminescence.

The complex "Distekh-VSK" produced by "Vildis Tekhnologii" includes two special digital video cameras with 3.2 million pixels each, 16 illumination sources with the wavelength of 254 to 940 nm, various geometry, 16 optimally selected filters [11-18].

Equipment for spectral studies is also produced abroad by the following companies: Projectina

с помощью функции "Окно-Каналы". Программа позволяет каждый канал скопировать в отдельное изображение и обрабатывать независимо от других каналов.

Двумерная спектральная гистограмма

При обработке черно-белых изображений используют гистограмму распределения яркости. Она строит зависимость числа точек в изображении от уровня яркости. При обработке цветных изображений строят три гистограммы, для каждой из трех вводимых компонент (синей, зеленой, красной). При обработке многозональных компонент можно построить гистограммы для каждого из регистрируемых диапазонов длин волн.

Задача сегментации многозональных изображений

Одной из важных задач обработки мультиспектральных данных является сегментация (выделение объекта). Для сегментации важно сформировать критерий близости для двух точек изображения. Если мера близости меньше некоторого порога, то данные точки изображения относятся к одному объекту. Интенсивность элемента, расположенного в строке X и столбце Y и зареги-



Рис.13. Компактное устройство Forinst, Forensic Instruments, Италия

Fig. 13. Compact device Forinst, Forensic Instruments, Italy

(Switzerland), Froster&Freeman (UK), MS MacroSystem (Nederland), CRAIC Technologies (USA)

стрированного на длине волны λ изображения, описывается функцией $F(x, y, \lambda)$. Сегментацию можно проводить на основе спектрального максимума. Данная модель сегментации хорошо работает в случае, когда на мультиспектральном изображении имеется несколько различных областей (компонент), у каждой из которых свой максимум поглощения. Предположим, что имеется мультиспектральное изображение, то есть несколько снимков, полученных в различных спектральных диапазонах (рис.14).

Рассмотрим некоторую точку на изображениях. Проанализируем значение интенсивности этой точки на различных снимках. Присвоим этой точке значение номера спектрального снимка, на котором значение интенсивности точки было максимально. Прделаем эту операцию со всеми точками на изображении. В результате получим сегментированное изображение. Точки изображения, которые имеют максимум на одном и том же спектральном снимке, получают одинаковые номера. Значит, точки с похожими спектральными характеристиками будут иметь одинаковый номер. Очевидно, что число типов точек (число сегментов) не будет превышать число спектральных диапазонов.

Выделение границы на многозональном изображении

Можно привести несколько методик определения границы следа на многозональном изображении. В каждой точке компонентного изображения вычисляется перепад яркости, а в соседних точках – разность между значениями яркости.

Первая из них опирается на построение яркостного многозонального изображения на основе всех компонент. В яркостном изображении яркость каждой точки равна сумме яркостей всех изображений. Если в некоторой точке перепад яркости больше порога, то это граничная точка.

По второй методике каждый компонент многозонального изображения анализируется отдельно. Точка считается граничной, если перепад яркостив этой точке больше порога. В результирующем изображении точка считается граничной, если она является граничной хотя бы для одной компоненты. Можно использовать методику анализа, когда каждый компонент многозонального изображения анализируется отдельно. Точка считается граничной, если перепад яркости в этой точке больше порога. В результирующем изображении точка считается граничной, если она является граничной во всех компонентах.

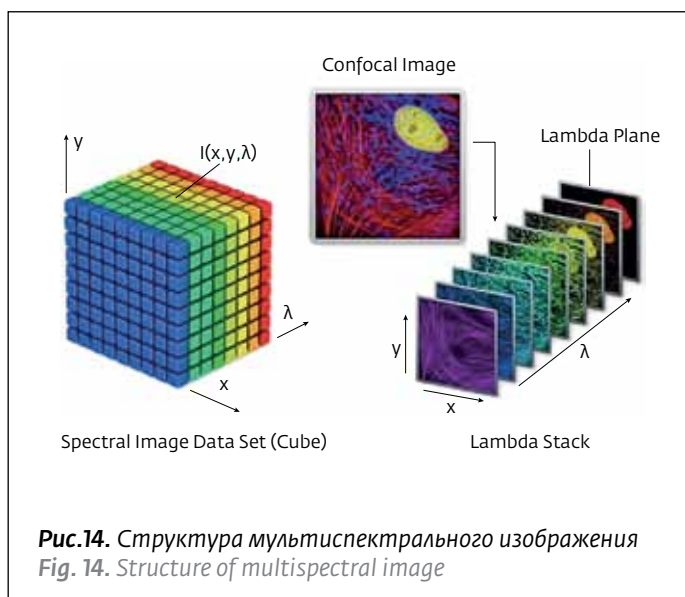


Рис.14. Структура мультиспектрального изображения
Fig. 14. Structure of multispectral image

(Fig. 10, 11). Comparison of equipment parameters is given below.

COMPACT SPECTRAL DEVICES

Some companies produce compact devices for documentation studies within different spectral ranges. Such devices are usually called video-magnifier, video-mouse (Fig. 11-13).

The light sources based on light emitting diodes are used in television magnifier "Videomysn VM-2": blue (470 nm), green (567 nm), yellow (590 nm), red (655 nm), IR (810 nm) (see Fig. 12).

Multimode colored megapixel television magnifier USB 2.0 "BTP-1332" is intended for the check of documents, banknotes and securities for the presence and compliance of security elements (relief, microprinting, peculiarities of lines of background grids and ornaments, metamerism of dyes, IR, UV luminescence of fragments and fibers etc.) with the visualization of magnified image on display screen (see Fig. 13).

PROCESSING OF MULTISPECTRAL DATA

Multispectral data processing requires use of the special software. And more importantly, the special methods of multispectral image processing are required. Earlier, such methods were used during processing of multispectral space photographs. Processing of multispectral data can be simulated using the program Photoshop. Every colored image consists of three monochromatic images (channels) – red, green and blue. When processing the images, operations are performed simultaneously for three channels. But using the function "Image-Adjustment-



Таким образом, методы спектроскопии, внедренные в практику судебной экспертизы, расширяют возможности анализа. Дальнейшая разработка и внедрение стандартизированных методик измерений позволит использовать результаты спектрального анализа в качестве доказательной базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Колтовой Н.А.** Спектральные методы в микроскопии. Кн.3, ч.3. – Электронный ресурс: koltovoi.nethouse.ru.
2. **Клюев В.В., Колтовой Н.А. Орлов Н.А.** Перспективы применения автоматизированной системы обработки изображений "Спектр" для задач неразрушающего контроля. – Дефектоскопия, 1985, № 5, с.92-94.
3. **Колтовой Н.А.** Судебно-медицинская экспертиза в интернете. – Эксперт-криминалист, 2006, № 3, с.35-42.
4. **Колтовой Н.А.** Спектральные методы в микроскопии. – Альманах клинической медицины, 2008, № 17-2, с.82.
5. **Колтовой Н.А.** Спектральные методы в медицине. – Фотоника, 2009, № 6, с.12-15.
6. **Колтовой Н.А.** Обзор применения оптических

Levels", each channel can be corrected independently. Channels can be reviewed separately using the function "Window-Channels". The program allows copying every channel into separate image and processing independently from other channels.

Two-Dimensional Spectral Histogram

When processing black-and-white images, the histogram of brightness distribution is used. It constructs the dependence of number of dots in image on the level of brightness. When processing colored images, three histograms are plotted, for each one of three introduced components (blue, green, red). When processing multi-zone components, the histograms for each recorded range of wavelengths can be plotted.

Task of Segmentation of Multi-Zone Images

One of important tasks of processing of multispectral data consists in the segmentation task (object selection). For segmentation it is important to form the criterion of proximity for two image points. If the measure of proximity is lower than some threshold, then these image points refer to one object. Intensity of the element located in row X and column Y and recorded at the wavelength

- спектральных методов в судебной экспертизе (микроспектрофотометрия). – Эксперт-криминалист, 2009, № 1, с.29–35.
7. **Гибсон Х.** Фотографирование в инфракрасных лучах /Пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
 8. **Николайчик В.М., Эйсман А.А.** Физические методы выявления невидимых текстов. – М.: Госюриздат, 1961.
 9. **Соловьев С.М.** Инфракрасная фотография. – М.; 1960.
 10. Каталог спектров поглощения паст для шариковых ручек, их отдельных компонентов в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области. – М., Академиздат, 1977.
 11. **Корнышев Н.П., Родионов О.Ф., Челпанов В.И.** Телевизионные комплексы для исследования документов в криминалистике и художественно-реставрационных работах. – В кн.: Сб. трудов НТК "Телевидение: передача и обработка изображений". – С-Пб: Наука, 2000.
 12. **Корнышев Н.П., Родионов О.Ф., Челпанов В.И., Бутусов В.В.** Телевизионные спектральные системы для криминалистических экспертиз. – Специальная техника, 2003, № 4, с.24–33.
 13. **Кекин А.Г., Ковалев А.А., Ковалев Д.А., Студитский А.С., Федотов А.В., Хныков Ю.А.** Аппаратурные средства проверки подлинности документов на основе оптического метода неразрушающего контроля. – Специальная техника, 2003, № 2.
 14. **Васильев М.А.** К вопросу об открытии минимальных количеств крови методом спектрографии в крайней фиолетовой области спектра. Материалы III Всесоюзного совещания судебно-медицинских экспертов и III Всесоюзной конференции научного общества судебных медиков и криминалистов. – Рига, 1957, с.175–177.
 15. **Васильев М.А.** О применении микроспектрографии при экспериментальном установлении минимальных количеств крови. – Судебно-медицинская экспертиза, 1960, № 2, с.24–28.
 16. **Васильев М.А.** Материалы к вопросу об экспериментальном установлении малых количеств крови в пятнах (экспериментальное абсорбционно-микроспектрографическое исследование). – М.: 1961.
 17. **Васильев М.А., Кондратьева Т.П.** Простой вариант сочетания спектральной насадки с фотокамерой для микроспектрографического анализа крови. – Судебно-медицинская экспертиза, 1961, № 3. с.34–35.
 18. **Ежевская Т.Б., Бубликов А.В.** Применение фурье-спектрометрии в криминалистике. – Эксперт-криминалист, 2006, № 1.

λ of image can be described by the function $F(x, y, \lambda)$. Segmentation can be performed on the basis of spectral maximum. This model of segmentation works well in case when there are several different areas (components) on multispectral image, and each area has its maximum of absorption. Let us assume that there is multispectral image or several photographs obtained in different spectral ranges (Fig. 14). Let us consider some point on the photographs. Let us analyze the value of intensity of this point in different photographs. The number of spectral photograph, in which the value of point intensity was maximal, must be assigned to this point. This operation should be performed for all points in image. As a result, we will obtain segmented image. Image points which have maximum in the same spectral photograph will be given identical numbers. Therefore, the points with similar spectral characteristics will have the same number. Obviously, the number of point types (number of segments) will not exceed the number of spectral ranges.

Boundary Detection in Multi-Zone Image

Several methods of trace boundary detection in multi-zone image can be mentioned here. The brightness jump is calculated in every point of component image, and the difference between brightness values is calculated in adjacent points.

The first one of them relies upon brightness multi-zone imaging on the basis of all components. The brightness of every point in brightness image is equal to the sum of brightnesses of all images. If in some point the brightness jump is higher than threshold value, then this is the boundary point.

In the second method, every component of multi-zone image is analyzed separately. The point is considered to be boundary if the brightness jump in this point is higher than threshold value. In resulting image the point is considered to be boundary if it is boundary point at least for one component. The method of analysis when every component of multi-zone image is analyzed separately can be used. The point is considered to be boundary if the brightness jump in this point is higher than threshold value. In resulting image the point is considered to be boundary if it is boundary point for all components.

Thus, the methods of spectroscopy used in the practice of forensic inquiry expand the analysis capabilities. Further development and implementation of standardized measurement methods will allow using the results of spectral analysis in the capacity of evidence basis.

