

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В АППАРАТУРЕ ЦИФРОВОЙ ФОТО И ВИДЕОЗАПИСИ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ТАКИХ УСТРОЙСТВ

О.В. Рыбальский, В.В. Журавель

Национальная академия внутренних дел,
пл. Соломянская, 1, Киев, 03056, Украина; e-mail: rybalsky_ol@mail.ru

Проведен анализ конструктивных и технологических особенностей модели аппаратуры цифровой фото и видеозаписи. Показано, что паразитные процессы, возникающие в элементах матриц и аналого-цифровых преобразователей, носят устойчивый индивидуальный характер. Предложено использование этих процессов для получения идентификационных признаков, пригодных для использования в экспертизе целостности и достоверности информации, содержащейся в видеограммах. Данные признаки носят фрактальный характер, что может быть использовано при их выделении из шумов цифровых изображений и последующей статистической обработке. Применение этих признаков в экспертизе соответствует теории криминалистической идентификации.

Ключевые слова: аппаратура цифровой фото и видео записи, цифровое изображение, светочувствительный элемент, аналого-цифровой преобразователь, фрактал, целостность информации, экспертиза

Введение

Материалы фото и видеозаписи давно используются в правоохранительной деятельности при расследовании преступлений. Порядок их использования при формировании доказательной базы основан на ряде процессуальных требований, предусматривающих, в частности, обязательное проведение экспертизы. Цель такой экспертизы – проверка целостности и достоверности информации, предоставляемой следствию и суду на фотоснимках и видеозаписях.

Появление цифровых методов и аппаратуры фиксации изображений потребовало создания новой инструментальной базы, необходимой для проведения экспертизы материалов и средств цифровой фото и видеозаписи.

Для создания такого инструментария необходимо провести системный анализ конструктивного и технологического устройства аппаратуры для такой записи [1]. На основании проведенного анализа можно установить идентификационные признаки, пригодные для создания такого инструментария. Наиболее пригодными для получения таких признаков являются паразитные процессы, возникающие в аппаратуре записи, и фиксируемые на носителях в шумах записываемых видеограмм. Такие процессы возникают за счет технологических погрешностей изготовления деталей и узлов аппаратуры записи, определяемых установленными для них полями допусков.

Цель статьи – проведение системного анализа конструктивных и технологических особенностей аппаратуры цифровой фото и видеозаписи (АЦФВЗ), установления

механізму виникнення в них паразитних процесів і вибору процесів, придатних для використання в якості базових для отримання ідентифікаційних ознак. При цьому такі ознаки повинні відповідати вимогам теорії криміналістичної ідентифікації [1].

Основная часть

Для анализа механизма возникновения процессов, происходящих при цифровой видеозаписи, необходимо рассмотреть устройство аппаратуры видео и фотоаппаратуры сигналов в цифровой форме. Отметим, что принципиальных отличий в устройстве цифровых видеокамер и фотоаппаратов с точки зрения преобразования изображения в цифровую форму и его последующей записи нет. Цифровая видеозапись состоит из цифровых фотографий, размещенных и воспроизводимых во времени в последовательном порядке с определенной скоростью смены изображений (кадров). Нижний предел этой скорости, как правило, определяется возможностью восприятия человеком изображения как отдельного фотоснимка. Поэтому рассматриваемое ниже устройство такой аппаратуры в равной степени относится и к цифровым фотоаппаратам, и к видеокамерам. Схематично это устройство представлено на рис. 1.

В такую аппаратуру входят: объектив с сопряженной с ним створкой затвора и регулируемой диафрагмой (оптическая система); световоспринимающая матрица, состоящая из изолированных светочувствительных элементов; аналого-цифровой преобразователь (АЦП) считывания и преобразования в цифровой код уровня электрического заряда светочувствительных элементов; генератор тактовой частоты для синхронизации процессов преобразования, обработки и запоминания записанных сигналов. Кроме того, в такой аппаратуре имеется оперативное запоминающее устройство, твердотельный носитель записанной цифровой информации и дисплей. Разумеется, в аппаратуру входит блок управления, но оценка его влияния на рассматриваемые процессы будет проведена ниже. Ранее необходимо рассмотреть работу такой аппаратуры и оценить функции, выполняемые каждым из ее узлов и блоков, приведенных на рис.1. Рассмотрим их функциональное взаимодействие при записи цифрового изображения.

Объектив с регулируемой диафрагмой увеличивает и фокусирует изображение, подлежащее записи, а затвор обеспечивает необходимое время экспозиции. Таким образом, аналогами процессов, происходящих в оптической системе АЦФВЗ, являются аналоговое усиление и дискретизация светового потока. Дискретный световой поток поступает на светочувствительную матрицу, где его интенсивность фиксируется на его элементах. При этом дискретный световой поток подвергается повторному процессу дискретизации (передискретизации), поскольку разбивается по отдельным элементам матрицы. Частота этой передискретизации определяется количеством изолированных светочувствительных элементов, но она не является окончательной.

Окончательный период дискретизации определяется периодом сканирования светочувствительных элементов матрицы в АЦП, где происходит преобразование уровней аналоговых электрических зарядов, пропорциональных световому потоку, в цифровой код, подлежащий последующему запоминанию. Эти процессы представлены на временной диаграмме (рис.2).

На диаграмме (рис.2) показано, что на весь процесс преобразования изображения в цифровую форму отводится временной промежуток, не превышающий время между двумя экспонированиями (время смены кадра). Тогда период дискретизации АЦП определится как

$$T_{дэ} = \frac{T_{СКМ}}{N} = \frac{T_{ЭКС} - T_{ВЫД}}{N}, \quad (1)$$

где N – количество светочувствительных элементов матрицы, $T_{дэ}$, $T_{СКМ}$, $T_{ЭКС}$, $T_{ВЫД}$ определяются в соответствии с рис.2.



Рис. 1. Функциональная схема цифрового аппарата записи изображений

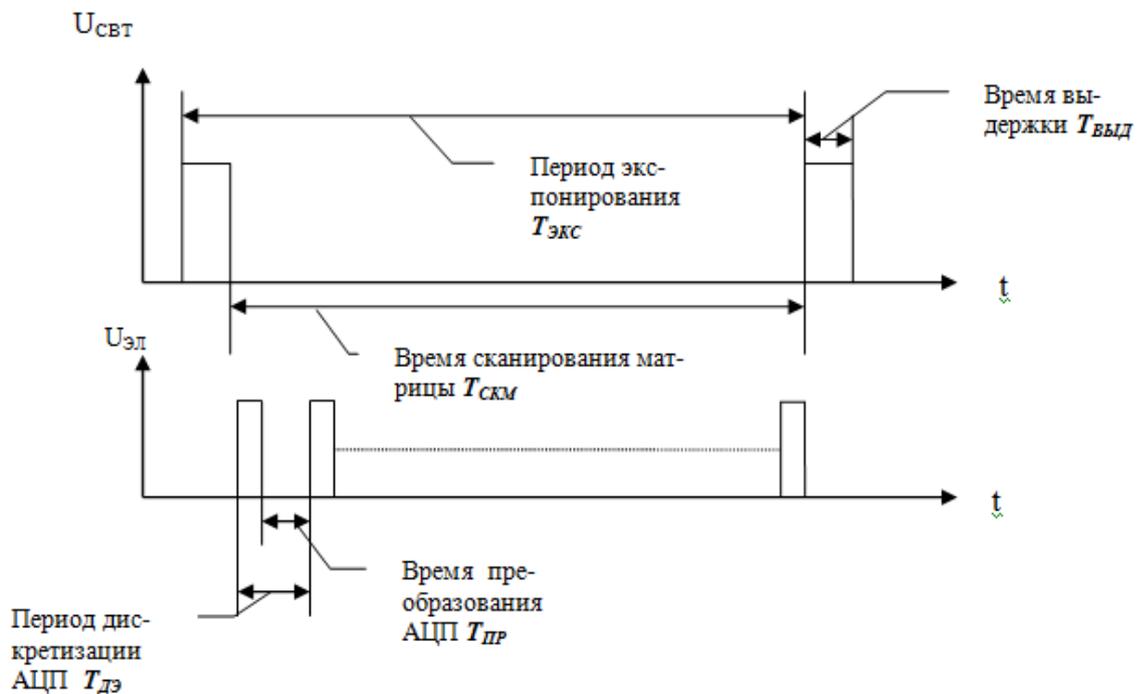


Рис. 2. Временная диаграмма процессов экспонирования и преобразования светового потока в цифровую форму

За это время в АЦП происходит процесс выборки с длительностью $\Delta_{ВЫБ}$ и последующий процесс преобразования выбранной величины сигнала в двоичный код. При этом время преобразования АЦП определяется как

$$T_{ПР} = T_{ДЭ} - \Delta_{ВЫБ}. \quad (2)$$

Для определения идентификационных признаков, возникающих в течение экспонирования и аналого-цифрового преобразования изображений, необходимо исследовать паразитные процессы, протекающие в это время. При этом воспользуемся методом суперпозиции, и будем рассматривать отдельно процессы, протекающие в каждом из узлов и блоков, показанных на рис. 1.

Рассмотрим паразитные процессы, возникающие в оптической системе в процессе экспонирования. Мы полагаем, что к таким процессам следует отнести нестабильность периода экспонирования $T_{ЭКС}$, возникающую за счет, например, нестабильности генератора сигнала управления или механического затирания шторки затвора. Такая нестабильность носит индивидуальный характер в силу индивидуальности технологических погрешностей (в пределах полей допусков) деталей и узлов, входящих в оптическую систему АЦФВЗ. Однако ее использование, по нашему мнению, не представляется возможным, т.к. сигнал этой нестабильности никак не проявляется в конечном изображении, представленном в цифровой форме.

Нестабильность периода дискретизации АЦП $T_{ДЭ}$ также никак не фиксируется в цифровом изображении и поэтому непригодна для использования в качестве идентификационного признака.

Рассмотрим светочувствительную матрицу. Она состоит из миллионов изолированных светочувствительных элементов (пикселей), имеющих технологические допуски на свои характеристики преобразования уровня освещенности и цвета в уровни электрического заряда. Также допусками предусматривается наличие некоторого количества «пустых» пикселей. Расположение таких дефектных пикселей на каждом экземпляре матрицы носит устойчивый индивидуальный характер. И, что самое главное, эти индивидуальные особенности матриц фиксируются в цифровых изображениях. Более того, шумы, создаваемые влиянием таких технологических дефектов, носят фрактальный характер и, следовательно, могут быть выделены и обработаны [2]. Таким образом, они пригодны для проведения сравнительных исследований и могут быть приняты в качестве идентификационных признаков.

В АЦФВЗ, в отличие от аппаратуры цифровой звукозаписи, используются АЦП с параллельным способом преобразования. Однако, поскольку и при этом способе преобразования в АЦП обязательно используется квантователь уровня (КУ), то в них возникают те же погрешности передачи, что и в АЦП последовательных приближений. Поэтому все положения, связанные с проявлением немонотонности статической характеристики (НСХ) КУ в оцифрованных звуковых сигналах, полностью относятся и к цифровым изображениям [3]. Исходя из этого, НСХ КУ АЦП также следует признать идентификационным признаком. Поскольку эти проявления также носят фрактальный характер, то и они могут использоваться для проведения сравнительных исследований [2].

Разумеется, что эти две группы признаков носят независимый характер и фиксируются в цифровом изображении. Поэтому сравнение двух цифровых изображений будет проводиться по интегральному признаку, связанному с образованием в их шумах самоподобных структур. Исходя из независимости событий [4], вероятность совпадения расположения и количества дефектных мест матриц и дефектных уровней КУ для двух черно-белых видеокамер среднего качества одного типа составляет

$$P_{\Sigma} = P_M^2 \cdot P_{НСХ}^2 = \frac{1}{M^2} \cdot \frac{1}{K^2} \approx 2,2 \cdot 10^{-30}, \quad (3)$$

где P_M^2 – вероятность совпадения положения пикселей в двух однотипных матрицах, $P_{НСХ}^2$ – вероятность совпадения положения в двух КУ двух уровней квантования, M – объем матрицы для видеокамеры среднего качества (2400x1200 пикс.), $K = 2^{16}$ – количество уровней квантования для 16-разрядного КУ.

При такой вероятности совпадения идентификационных признаков для двух видеокамер, очевидно, что образовавшиеся в их шумах фрактальные структуры будут принадлежать к различным совокупностям, поскольку вид этих фракталов зависит от положения дефектных участков, как в матрицах, так и в КУ АЦП [5].

Это, в свою очередь, означает возможность их получения из шумов цифровых изображений и статистическую обработку, что обеспечивает сравнительные исследования их принадлежности к одному распределению.

Таким образом, паразитными процессами, пригодными для выделения их идентификационных признаков АЦФВЗ, следует признать шумы, возникающие в цифровых изображениях, обусловленные технологическими погрешностями изготовления светочувствительных элементов светопреобразующих матриц и квантователей уровня АЦП.

Индивидуальность и устойчивость их характера определяются ничтожной вероятностью совпадения местоположения дефектных мест в светопреобразующих матрицах и КУ АЦП.

Выводы

1. Проведенный системный анализ конструктивного строения и технологических погрешностей изготовления аппаратуры цифровой фото и видеозаписи показал, что паразитные процессы, возникающие в светопреобразующих матрицах и квантователях уровня АЦП, пригодны для получения из них идентификационных признаков, предназначенных для проведения экспертизы.

2. Эти идентификационные признаки являются фрактальными образованиями, носящими устойчивый индивидуальный характер. Они могут быть выделены из шумов цифровых изображений и подвергнуты статистическому анализу.

3. Эти идентификационные признаки отвечают требованиям теории криминалистической идентификации.

Список литературы

1. Рыбальский, О.В. Применение системного анализа для разработки методик и средств экспертизы технических объектов / О. В. Рыбальский, В. И. Соловьев, Т. А. Татарникова // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. – 2011. – Вип.11. – С. 348 – 353.
2. Рыбальський, О.В. Новий напрям рішення комплексу проблем фоноскопії / О.В. Рыбальський, В.І. Соловйов, О.М. Шабля, В.В. Журавель // Захист інформації і безпека інформаційних систем: Матеріали 2-ої міжнародної науково-технічної конференції. – Львів: УАД. – С. 122 – 123.
3. Рыбальський, О.В. Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі / О.В. Рыбальський. – К. : Нац. акад. внутр. справ України, 2004. – 167 с.
4. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1972. – 720 с.

5. Белозьоров, Є. В. Методологія аналізу автентичності цифрового зображення на основі фрактального підходу / Є. В. Белозьоров // Проблеми інформатизації та управління. – 2012. – № 4 – С. 13 – 18.

АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ВИНИКНЕННЯ ПАРАЗИТНИХ ПРОЦЕСІВ В АПАРАТУРІ ЦИФРОВОГО ФОТО ТА ВІДЕОЗАПИСУ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИ ЕКСПЕРТИЗІ ТАКИХ ПРИСТРОЇВ

О.В. Рибальський, В.В. Журавель

Національна академія внутрішніх справ,
пл. Солом'янська, 1, Київ, 03056, Україна; e-mail: rybalsky_ol@mail.ru

Проведено аналіз конструктивних і технологічних особливостей моделі апаратури цифрового фото та відеозапису. Показано, що паразитні процеси, що виникають в елементах матриць та аналого-цифрових перетворювачів, носять стійкий індивідуальний характер. Запропоновано використання цих процесів для отримання ідентифікаційних ознак, придатних для використання в експертизі цілісності та достовірності інформації, що міститься у відеограмах. Ці ознаки носять фрактальний характер, що може бути використано при їх виділенні з шумів цифрових зображень і подальшій статистичній обробці. Застосування цих ознак в експертизі відповідає теорії криміналістичної ідентифікації.

Ключові слова: апаратура цифрового фото та відео запису, цифрове зображення, світлочутливий елемент, аналого-цифровий перетворювач, фрактал, цілісність інформації, експертиза

THE ANALYSIS OF MECHANISM OF ORIGIN OF PARASITE PROCESSES IN AN APPARATUS IS DIGITAL PHOTO AND VIDEOTAPE RECORDING, SUITABLE FOR USING FOR TO EXAMINATION OF SUCH DEVICES

O.V. Rybalsky, V.V. Zhuravel

National Academy of Internal Affairs,
1, Solomenskaya Sq., Kiev, 03056, Ukraine; e-mail: rybalsky_ol@mail.ru

The analysis of structural and technological features of model of apparatus is conducted by digital to the photo and videotape recording. It is shown that parasite processes arising up in the elements of matrices and ADCS carry steady individual character. The use of these processes is offered for the receipt of identification signs, suitable for the use in examination of integrity and authenticity of the information contained in videogrammes. These signs carry fractal character, that it can be used for their selection from noises of images and subsequent statistical treatment. Application of these signs in examination corresponds to the theory of criminalistics authentication.

Keywords: apparatus digital photo and video of record, digital representation, photosensitive element, ADC, fractal, integrity of information, examination