

ОСНОВЫ МЕТОДА ВЫЯВЛЕНИЯ КЛОНИРОВАННЫХ УЧАСТКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ КОРРЕКЦИИ ЦВЕТА

В работе рассмотрена актуальная задача детектирования областей несанкционированных изменений цифровых контентов. На основе матричного анализа впервые разработан теоретически обоснованный метод выявления клонированных участков цифрового изображения, подвергнутых коррекции цвета средствами графического редактора Adobe Photoshop. Получено формальное матричное представление результата коррекции цвета; определены характерные особенности возмущений сингулярных чисел матрицы - формальных параметров, определяющих цифровое изображение в соответствии с общим подходом к анализу состояния и технологии функционирования информационных систем, в результате коррекции цвета; определен способ количественной оценки коэффициента коррекции цветового канала; из совокупности сингулярных чисел матрицы (подматрицы) изображения с учетом особенностей машинной арифметики выделены наиболее информативные для определения коэффициента коррекции цвета - максимальные сингулярные числа.

Разработанный метод позволяет локализовать область клонирования в условиях постобработки изображения, может быть использован для решения аналогичной задачи для цифрового видео.

Ключевые слова: клонирование, цифровое изображение, матрица, сингулярные числа, сингулярные векторы, коррекция цвета, n-оптимальный вектор

Введение. Судебная экспертиза, медицинская диагностика, военная разведка, электронный документооборот – все это сферы жизнедеятельности человека, где необходима уверенность в том, что в используемые здесь цифровые контенты, в частности, цифровые изображения (ЦИ), не были внесены какие-либо несанкционированные изменения. С развитием информационных технологий, общедоступностью редактирующего цифровые контенты программного обеспечения приходится признать, что проблема доказательства целостности ЦИ, выявления области фальсификации (при ее наличии) становится все более актуальной [1,2].

Большое внимание в современной научной печати уделяется детектированию фальсификаций ЦИ [3-5], проведенных с использованием средств графических редакторов, таких как Adobe Photoshop, GIMP и других. Как следует из открытых источников, одним из наиболее часто используемых при несанкционированных изменениях ЦИ инструментов здесь является «Штамп», или клонирование [6]. Задача выявления клонированных участков цифровых контентов до настоящего момента не решена полностью, в частности, практически отсутствуют математически обоснованные методы (алгоритмы), позволяющие выявлять области клонирования в случае постобработки ЦИ (например, коррекции цвета клонированных участков), что является распространенным на практике, оставляя упомянутую задачу актуальной.

Цель статьи и постановка исследования. Лидером рынка в области коммерческих средств редактирования растровых изображений и наиболее популярным в настоящий момент является многофункциональный графический редактор Adobe Photoshop. В арсенале этого «программного монстра» существует значительное количество различных инструментов, используемых для обработки ЦИ, среди которых важную роль при проведении несанкционированных изменений, как показывает практика, играют такие программно реализованные инструменты, как клонирование, коррекция яркости и/или цвета всего ЦИ или его части, в частности, области клонирования.

Целью статьи является разработка основ метода выявления клонированных участков цифрового изображения в условиях коррекции цвета клонированных областей, осуществляемой средствами Adobe Photoshop.

В качестве основного математического инструмента в работе используется матричный анализ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Получить формальное матричное представление результата коррекции цвета;
2. Определить характеристики возмущений формальных параметров, определяющих ЦИ, в результате коррекции цвета;
3. Определить способ количественной оценки коэффициента коррекции цветового канала.

Основная часть. Настоящая работа посвящена задаче выявления клонированных участков ЦИ, подвергнутых постобработке путем коррекции цвета, осуществляемой в Adobe Photoshop за счет микширования каналов. Данный инструмент позволяет изменять выбранный (целевой) цветовой канал путем смешивания исходных цветовых каналов изображения (рис.1).

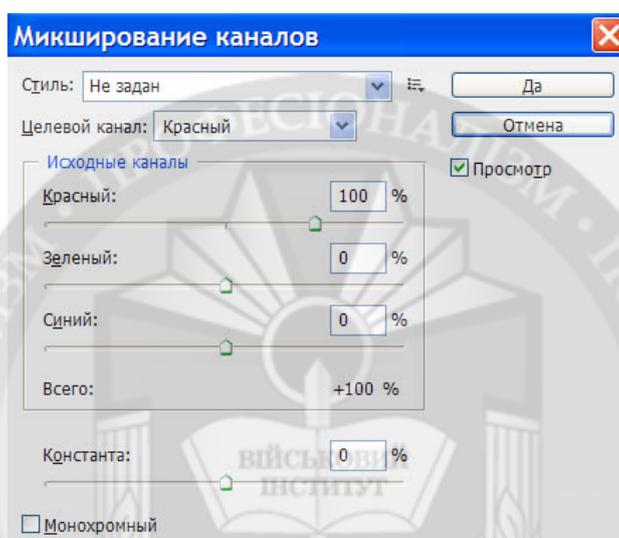


Рис. 1. Окно «Микширование каналов» Adobe Photoshop

Процедура применения инструмента микширования каналов состоит из следующих шагов [8]:

1. Выбирается целевой канал, в который будут смешиваться один или несколько существующих каналов.
2. Чтобы уменьшить вклад одного канала в создание выходного канала, перетаскивается ползунок для этого исходного канала влево. Чтобы увеличить вклад определенного канала, перетаскивается его ползунок вправо. Итоговый вклад всех исходных каналов в целевой канал показывается в поле Всего. Если итоговое значение больше 100%, то рядом с этим значением выводится значок предупреждения. Если значение превысит 100%, то это повлечет за собой изменение яркости изображения.

В последующих исследованиях изменяется целевой канал, смешивая один канал, соответствующий целевому каналу (рис.2).

Состояние любой информационной системы, в частности, ЦИ, формально описывается совокупностью однозначно определяющих ее параметров – сингулярных чисел (СНЧ) и/или сингулярных векторов (СНВ) соответствующей матрицы (матриц) [1].

Матричное представление коррекции яркости ЦИ в соответствии с результатами реализации этой операции в графическом редакторе Adobe Photoshop с некоторым допущением имеет следующий вид:

$$\bar{F} = kF,$$

где F, \bar{F} - $n \times n$ -матрицы цветовых каналов ЦИ до и после коррекции соответственно, k - скалярное значение коррекции, или коэффициент коррекции, $0 < k \leq 1$.



Рис. 2. Результаты применения инструмента «Микширование каналов»: а - исходное изображения; б – изображение с измененным синим каналом с коэффициентом $k = 0.7$

Пусть

$$F = U\Sigma V^T$$

- сингулярное разложение [1] матрицы любого цветового канала RGB ЦИ, где матрицы $U = (u_1, \dots, u_n)$, $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$, $V = (v_1, \dots, v_n)$ ($u_i, v_i, i = \overline{1, n}$, - столбцы матриц U, V - левые и правые лексикографически положительные ортонормированные СНВ F , $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$ - СНЧ).

Тогда:

$$\bar{F} = kF = kU\Sigma V^T = U(k\Sigma)V^T = U \begin{pmatrix} k\sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k\sigma_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & k\sigma_n \end{pmatrix} V^T. \quad (1)$$

Из формулы (1), которая представляет из себя сингулярное разложение матрицы \bar{F} , вытекает:

СНЧ $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \dots, \bar{\sigma}_n$ матрицы \bar{F} определяются как:

$$\bar{\sigma}_i = k\sigma_i, i = \overline{1, n},$$

что является формальным представлением коррекции цвета ЦИ.

Определение коэффициента коррекции цвета k проводится в соответствии с формулой:

$$k = \frac{\bar{\sigma}_1}{\sigma_1} = \frac{\bar{\sigma}_2}{\sigma_2} = \dots = \frac{\bar{\sigma}_n}{\sigma_n}; \quad (2)$$

СНВ матрицы ЦИ в результате коррекции цвета не меняются.

Аналогичное заключение будет иметь место в случае коррекции цвета для отдельных частей (блоков) ЦИ, являющихся результатом клонирования.

Полученные теоретические результаты являются основой для разработки метода обнаружения фальсификаций в ЦИ, полученных при помощи клонирования с последующей коррекцией цветового канала.

В силу особенностей машинной арифметики при работе с вещественными числами формула (2) на практике может не выполняться в точности. Хотя в соответствии с соотношением [1]:

$$\max_i |\sigma_i - \bar{\sigma}_i| \leq \|F - \bar{F}\|_2,$$

где $\|\bullet\|_2$ - спектральная матричная норма [1], все СНЧ являются хорошо обусловленными, или нечувствительными к возмущающим воздействиям, их относительные погрешности в результате возмущений различны. Наименее всего с точки зрения оценки относительной погрешности, по сравнению с другими, «пострадают» наибольшие СНЧ. В силу этого для получения так называемого предсказываемого значения коррекции цветового канала \bar{k} будем использовать формулу:

$$\bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_1}{\sigma_1}. \quad (3)$$

С учетом вышесказанного основные шаги метода обнаружения клонированных частей ЦИ с матрицами цвета R, G, B , подвергнутых коррекции цвета путем микширования каналов, следующие.

1. Разбить матрицы цветов R, G, B ЦИ соответственно на множества пересекающихся блоков размерами $p \times p$ пикселей: $C_R = \{c_1^{(R)}, c_2^{(R)}, \dots, c_s^{(R)}\}$, $C_G = \{c_1^{(G)}, c_2^{(G)}, \dots, c_s^{(G)}\}$, $C_B = \{c_1^{(B)}, c_2^{(B)}, \dots, c_s^{(B)}\}$ таких, что

$$\bigcup_{i=1}^s c_i^{(R)} = R, \quad \bigcup_{i=1}^s c_i^{(G)} = G, \quad \bigcup_{i=1}^s c_i^{(B)} = B,$$

(здесь каждый последующий блок c_i^0 отличается от предыдущего c_{i-1}^0 сдвигом на 1 пиксель вправо, влево, вниз или вверх).

2. Каждый блок $c_i^{(R)}, c_i^{(G)}, c_i^{(B)}$, $i = 1, \dots, s$, рассмотреть в паре со всеми блоками $c_j^{(R)}, c_j^{(G)}, c_j^{(B)}$, $j = 1, \dots, s, j \neq i$, соответственно. Для каждой пары:

2.1. Вычислить коэффициенты корреляции

$$cor_R = correlation(c_i^{(R)}, c_j^{(R)}), \quad cor_G = correlation(c_i^{(G)}, c_j^{(G)}),$$

$$cor_B = correlation(c_i^{(B)}, c_j^{(B)}).$$

2.2. Если

$$(cor_G = 1) \& (cor_B = 1)$$

то

вычислить сингулярные разложения:

$$c_i^{(R)} = U_i^{(R)} \Sigma_i^{(R)} (V_i^{(R)})^T; \quad c_j^{(R)} = U_j^{(R)} \Sigma_j^{(R)} (V_j^{(R)})^T,$$

где $\Sigma_i^{(R)} = \text{diag}(\sigma_1^{(R)}, \sigma_2^{(R)}, \dots, \sigma_p^{(R)})$, $\Sigma_j^{(R)} = \text{diag}(\overline{\sigma}_1^{(R)}, \overline{\sigma}_2^{(R)}, \dots, \overline{\sigma}_p^{(R)})$;

вычислить предсказываемое значение коррекции цветового канала \overline{k} :

$$\overline{k}_{ij} = \begin{cases} \frac{\sigma_1^{(R)}}{\overline{\sigma}_1^{(R)}}, \text{ если } \overline{\sigma}_1^{(R)} \geq \sigma_1^{(R)}, \\ \sigma_1 \\ \frac{\overline{\sigma}_1^{(R)}}{\sigma_1^{(R)}}, \text{ если } \overline{\sigma}_1^{(R)} < \sigma_1^{(R)} \end{cases}.$$

Если

$$(cor_R = 1) \& (cor_B = 1)$$

то

вычислить сингулярные разложения:

$$c_i^{(G)} = U_i^{(G)} \Sigma_i^{(G)} (V_i^{(G)})^T; \quad c_j^{(G)} = U_j^{(G)} \Sigma_j^{(G)} (V_j^{(G)})^T,$$

где $\Sigma_i^{(G)} = \text{diag}(\sigma_1^{(G)}, \sigma_2^{(G)}, \dots, \sigma_p^{(G)})$, $\Sigma_j^{(G)} = \text{diag}(\overline{\sigma}_1^{(G)}, \overline{\sigma}_2^{(G)}, \dots, \overline{\sigma}_p^{(G)})$;

вычислить предсказываемое значение коррекции цветового канала \overline{k} :

$$\overline{k}_{ij} = \begin{cases} \frac{\sigma_1^{(G)}}{\overline{\sigma}_1^{(G)}}, \text{ если } \overline{\sigma}_1^{(G)} \geq \sigma_1^{(G)}, \\ \sigma_1 \\ \frac{\overline{\sigma}_1^{(G)}}{\sigma_1^{(G)}}, \text{ если } \overline{\sigma}_1^{(G)} < \sigma_1^{(G)} \end{cases}.$$

Если

$$(cor_R = 1) \& (cor_G = 1)$$

то

вычислить сингулярные разложения:

$$c_i^{(B)} = U_i^{(B)} \Sigma_i^{(B)} (V_i^{(B)})^T; \quad c_j^{(B)} = U_j^{(B)} \Sigma_j^{(B)} (V_j^{(B)})^T,$$

где $\Sigma_i^{(B)} = \text{diag}(\sigma_1^{(B)}, \sigma_2^{(B)}, \dots, \sigma_p^{(B)})$, $\Sigma_j^{(B)} = \text{diag}(\overline{\sigma}_1^{(B)}, \overline{\sigma}_2^{(B)}, \dots, \overline{\sigma}_p^{(B)})$;

вычислить предсказываемое значение коррекции цветового канала \overline{k} :

$$\overline{k}_{ij} = \begin{cases} \frac{\sigma_1^{(B)}}{\overline{\sigma}_1^{(B)}}, \text{ если } \overline{\sigma}_1^{(B)} \geq \sigma_1^{(B)}, \\ \sigma_1 \\ \frac{\overline{\sigma}_1^{(B)}}{\sigma_1^{(B)}}, \text{ если } \overline{\sigma}_1^{(B)} < \sigma_1^{(B)} \end{cases}.$$

2.3. Последовательно изменять значения всех пикселей блока $c_i^{(R)}$ или $c_i^{(G)}$, или $c_i^{(B)}$ в \bar{k}_{ij} раз. Для полученного в результате коррекции блока $c_i^{(R)'}$ и блока $c_j^{(R)}$, или блока $c_i^{(G)'}$ и блока $c_j^{(G)}$, или блока $c_i^{(B)'}$ и блока $c_j^{(B)}$ вычислить коэффициент корреляции δ :

$$\delta = \text{correlation}(c_i^{(R)'}, c_j^{(R)}) \text{ или}$$

$$\delta = \text{correlation}(c_i^{(G)'}, c_j^{(G)}) \text{ или}$$

$$\delta = \text{correlation}(c_i^{(B)'}, c_j^{(B)})$$

Если

$$\delta = 1,$$

то

блоки $c_i^{(R)'}$ и $c_j^{(R)}$ или $c_i^{(G)'}$ и $c_j^{(G)}$, или $c_i^{(B)'}$ и $c_j^{(B)}$ - оригинальный и клонированный с коррекцией цвета.

Иначе

Рассмотреть следующую пару блоков.

Некоторые результаты тестирования предложенного метода для $p = 8$, иллюстрирующие результат выявления и локализации областей клонирования в ЦИ в условиях коррекции цвета, представлены на рис.3. Результат работы предложенного метода отвечает реально проведенному изменению изображения.



Рис. 3. Результаты применения метода выявления клонированных участков ЦИ в условиях последующей коррекции цветового канала: а - исходные изображения; б - фальсифицированные ЦИ; в - обнаруженные области клонирования, подвергнутые коррекции цвета

Выводы. В работе на основе матричного анализа разработан теоретически обоснованный метод выявления клонированных участков цифрового изображения в условиях его постобработки средствами графического редактора Adobe Photoshop – коррекции цвета клонированных областей.

В ходе работы:

1. Получено формальное матричное представление результата коррекции цвета;
2. Определены характерные особенности возмущений сингулярных чисел матрицы - формальных параметров, определяющих цифровое изображение в соответствии с общим подходом к анализу состояния и технологии функционирования информационных систем, в результате коррекции цвета;
3. Определен способ количественной оценки коэффициента коррекции цветового канала;
4. Из совокупности сингулярных чисел матрицы (подматрицы) изображения с учетом особенностей машинной арифметики выделены наиболее информативные для определения коэффициента коррекции цвета – максимальные сингулярные числа.

Разработанный метод позволяет локализовать область клонирования в условиях постобработки изображения, может быть использован для решения аналогичной задачи для цифрового видео, представляемого в виде последовательности кадров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кобозева, А.А. Анализ информационной безопасности: монография / А.А. Кобозева, В.А.Хорошко. – К.: ГУИКТ, 2009. – 251 с.
2. Нариманова Е.В. Проверка целостности цифрового сигнала [Текст]: монография / Е.В. Нариманова. – Донецк: Изд. Цифровая типография, 2011. – 180 с.
3. Зорило, В.В. Метод выявления симметричного клонирования при фальсификации цифрового изображения / В.В.Зорило, А.А.Кобозева, Е.Ю.Лебедева // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2013. – Том 3, №1. – С. 5-12.
4. Кобозева А.А. Основы общего подхода к решению проблемы обнаружения фальсификации цифрового сигнала / А.А.Кобозева // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2009. – Вип.72. – с.35-41.
5. Кобозева А.А. Метод виявлення фальсифікації цифрового зображення в умовах збурних дій / А.А.Кобозева, В.В.Зорило // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім.Т.Шевченка. – 2009. – Вип.№20. – С.147-154.
6. Зорило, В.В. Выявление клонирования как фальсификации цифрового изображения / В.В. Зорило // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Х.: НТУ «ХПІ», 2011. – № 35. – С.31–38.
7. Кобозева, А.А. Анализ чувствительности сингулярных векторов матрицы изображения как основа стеганоалгоритма, устойчивого к сжатию / А.А.Кобозева, М.А.Мельник // Захист інформації. – 2013. – №2. – С.49-58.
8. Adobe® Photoshop® CS3 Руководство пользователя для Windows® и Mac OS.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник научно-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н., проф. Кобозева А.А., Лебедева О.Ю.

ОСНОВИ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ КЛОНОВАНИХ ДІЛЯНОК ЗОБРАЖЕННЯ, ПІДДАНИХ КОРЕКЦІЇ КОЛЬОРУ

У роботі розглянута актуальна задача детектування областей несанкціонованих змін цифрових контентів. На основі матричного аналізу вперше розроблений теоретично обґрунтований метод виявлення клонованих ділянок цифрового зображення, підданих корекції кольору засобами графічного редактора Adobe Photoshop. Отримана формальне матричне представлення результату корекції кольору; визначені характерні риси збурень сингулярних чисел матриці - формальних параметрів, що визначають цифрове зображення відповідно до загального підходу до аналізу стану й технології функціонування інформаційних систем, у результаті корекції кольору; визначений спосіб кількісної оцінки коефіцієнта корекції колірнього каналу; із сукупності сингулярних чисел матриці (підматриці) зображення з урахуванням особливостей машинної арифметики виділені найбільш інформативні для визначення коефіцієнта корекції кольору – максимальні сингулярні числа.

Розроблений метод дозволяє локалізувати область клонування в умовах постобробки зображення, може бути використаний для рішення аналогічної задачі для цифрового відео.

Ключові слова: клонування, цифрове зображення, матриця, сингулярні числа, сингулярні вектори, корекція кольору, n-оптимальний вектор

Kobozeva A., Lebedeva E.

FUNDAMETALS OF METHOD FOR DETECTION CLONE PARTS OF IMAGES THAT EXPOSED TO COLOR CORRECTION

The paper considers the actual problem of detecting unauthorized changes of the areas of digital content. Proposed method for detection clone parts of image that exposed to color correction by Adobe Photoshop based on matrix analysis. Formal matrix representation for the result of color correction is received. The outstanding characteristics for perturbation of singular values as a result of color correction are defined. The method to quantify the correction factor of the color channel is defined. Defined that most informative from set of singular values of image for determining the coefficient of color correction are the maximum singular values.

The developed method allows to locate the area of cloning in the post editing environment that can be used to solve a similar problem for digital video.

Keywords: cloning, digital image, matrix, singular value, singular vector, color correction, n-optimal vector