

## ОБНАРУЖЕНИЕ ЦИФРОВОГО ФОТОМОНТАЖА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КонтРАСТНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Детали, которые незаметны человеческому глазу на изображении с малой контрастностью, могут стать показателем несоответствий во взаимном расположении объектов/людей на изображении или их освещенности, что может рассматриваться как признак цифровой фальсификации. В статье предложен новый подход обнаружения фотомонтажа в цифровом изображении только при помощи методов повышения контрастности изображения.

**Ключові слова:** цифровое изображение, фотомонтаж, освещенность цифрового изображения, контрастность цифрового изображения.

### Введение

Практика подделки фотографий, вероятно, является такой же древней как и, собственно, искусство фотографирования. Природа цифровой фотографии и мощные современные графические редакторы делают процесс фальсификации изображений достаточно простым даже для неспециалиста. Результатом таких фальсификаций могут быть самые безобидные коллажи или, напротив, - подделки, носящие преступный характер. Научные достижения в области аутентификации цифрового изображения, очевидно, будут полезны, например, при выяснении споров, где цифровое изображение предоставляется как доказательство.

### Анализ литературных источников

Методы, которые были предложены для обнаружения фальсификации цифровых изображений, используют различные подходы. Например, в [1] рассматривается несколько методов для идентификации фотомонтажа путем обнаружения артефактов, которые имеют место вследствие передискретизации изображения, повторного квантования при сохранении изображения в JPEG формате (эта идея также развивается и усовершенствуется в [2] и [3]). На фальсификацию также указывают различные шумовые характеристики на подлинном изображении и внедренных в него объектах, взятых из другого изображения. В [4] предложен метод, базирующийся на несоответствии условий освещенности объектов, присутствующих на изображении, при фотосъемке. В [5] описан метод выявления фотомонтажа с использованием шума камеры, который является уникальной характеристикой ее сенсоров.

Существующие методы распознавания фотомонтажа могут быть эффективными в некоторых аспектах, но не всегда надежны и, тем более, не обеспечивают полное решение задачи, поэтому повышение эффективности существующих и создание новых методов и техник обнаружения фотомонтажа остается актуальным.

Фрагменты изображения, не являющиеся объектами одной и той же сцены, могут иметь различный яркостный контраст. Фотомонтаж, содержащий такие объекты, визуально может выглядеть как подлинное изображение.

**Целью** работы является определение подлинности цифрового изображения на основе анализа его яркостных характеристик.

### Основная часть

#### 1. Пространственные методы усиления контрастности изображения

Низкий контраст изображения может быть следствием плохого освещения, излишне большого динамического диапазона сенсора или даже неверно установленной диафрагмы объектива при съемке. Изображение с низким контрастом имеет узкую гистограмму, расположенную вблизи центра диапазона яркостей. Если же ненулевые уровни сконцентрированы в области низких значений диапазона яркостей, то изображение выглядит темным. Типичным примером таких изображений могут быть рентгеновские снимки,

поскольку рентгеновские лучи не могут быть сфокусированы так же, как фокусируются световые лучи при помощи линз. Следуя интуиции можно предположить, что изображение, распределение элементов которого близко к равномерному и занимает весь диапазон возможных значений яркостей будет выглядеть высококонтрастным, содержать большое количество полутонов и, как следствие, деталей. Таким образом, усиление контраста можно достигнуть увеличением динамического диапазона яркостей при цифровой обработке изображения.

Существует достаточно много пространственных методов усиления контрастности изображения. Например, степенные преобразования, методы, основанные на использовании кусочно-линейных функций и т.п., которые хорошо описаны в литературе по цифровой обработке изображений. Самым простым, «автоматическим» методом повышения контрастности изображения является эквализация (линеаризация) гистограммы, поскольку метод базируется лишь на информации, которая может быть извлечена из обрабатываемого изображения без указания каких-либо дополнительных параметров. Опуская детали выкладки, которые можно найти, например, в [6] сформулируем общую идею метода эквализации гистограммы.

Пусть имеем изображение размера  $M \times N$ , тогда  $n = M \times N$  - общее число пикселей на изображении. Обозначим  $r_k$  - яркость пикселя,  $k = 0, 1, \dots, L-1$ , где  $L$  - максимальное допустимое число уровней яркости на изображении, а  $n_k$  - число пикселей яркости  $r_k$ . Уровни яркости могут рассматриваться как значения случайной величины в интервале  $[0, 255]$ . Тогда вероятность появления пикселя со значением яркости  $r_k$  приблизительно равна

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (1)$$

В обработке изображений важную роль играет функция

$$s = T(r) = \int_0^r p(t) dt, \quad (2)$$

где  $t$  - переменная интегрирования.

Правая часть уравнения (2) есть не что иное, как функция распределения случайной переменной  $r$  с плотностью распределения  $p(r)$ . Дискретным аналогом функции, задаваемой уравнением (2) будет

$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k p(r_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}, \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

Выходное изображение получается отображением каждого пикселя входного изображения, имеющего яркость  $r_k$ , в соответствующий элемент выходного изображения. Преобразование, задаваемое уравнением (3), называется эквализацией или линеаризацией гистограммы.

Рис.1 демонстрирует изображение CAMERAMAN.TIF и его эквализированную версию. Следует обратить внимание на появление деталей на пальто фотографа – рис.1(б), которые были неразличимы на исходном изображении – рис. 1(а).

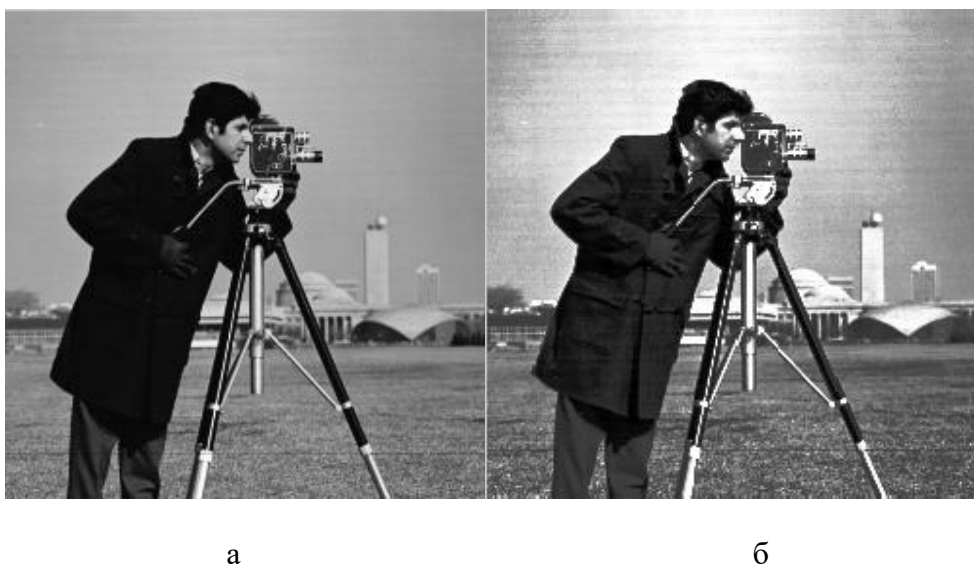


Рис. 1. Изображение CAMERAMAN.TIF: а – исходное; б – эквализированное.

## 2. Частотные методы усиления контрастности изображения

Усиления контраста изображения можно также достигнуть путем одновременного сжатия его яркостного диапазона. В этом случае используется метод гомоморфной фильтрации, суть которого состоит в следующем. Исходное изображение подвергается логарифмическому преобразованию, затем дискретному преобразованию Фурье, коэффициенты которого фильтруются так называемым гомоморфным фильтром  $H(u, v)$ .

Более детальное описание метода можно найти, например, в [6]. Профиль такого фильтра имеет вид – рис.2.  $D(u, v)$  на рис.2 – расстояние от начала координат до центра частотного прямоугольника.

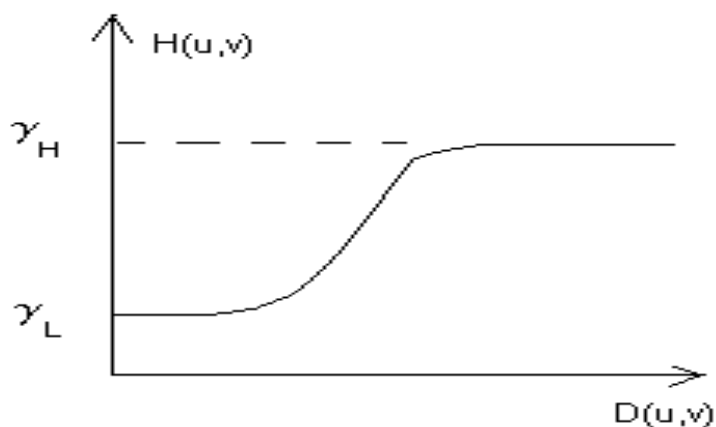


Рис.2. Профиль центрально-симметричной передаточной функции гомоморфного фильтра.

Если параметры  $\gamma_L$  и  $\gamma_H$  выбраны так, что  $\gamma_L < 1$  и  $\gamma_H > 1$ , то фильтр будет ослаблять вклад, вносимый низкими частотами и усиливать вклад высоких частот.

Затем описанный процесс выполняется в обратном порядке.

Выявляются скрытые ранее детали.

### 3. Выявление несоответствий на изображении при помощи повышения его контрастности

В условиях отсутствия банка данных для проведения эксперимента выбирались изображения с малой контрастностью, в которые внедрялись объекты, созданные при помощи графических редакторов или объекты/люди из других изображений любой контрастности. Так, например, на пальто фотографа осуществлен монтаж пуговиц при помощи редактора ACDSsee 7.0, назовем полученное изображение PHOTOMONTAGE, которые отсутствуют на подлинном изображении – рис.1(а). После такого монтажа визуальное изображение выглядит вполне реально – рис. 3(а).



а

б

Рис. 3. Изображение PHOTOMONTAGE: а – до фильтрации; б – после фильтрации.

Далее изображение было подвергнуто гомоморфной фильтрации с использованием модифицированного гауссова высокочастотного фильтра

$$H(u, v) = (\gamma_H - \gamma_L)(1 - e^{-c(D^2(u, v)/D_0^2)}) + \gamma_L, \quad (4)$$

где  $D(u, v)$  для изображения размера  $M \times N$  задается формулой

$$D(u, v) = \sqrt{(u - M/2)^2 + (v - L/2)^2} \quad (5)$$

$D_0$  в формуле (4) – частота среза, а константа  $c$  введена для того, чтобы контролировать крутизну наклона передаточной функции фильтра в переходной области  $\gamma_L$  и  $\gamma_H$ .

Рис.3(б) иллюстрирует результат гомоморфной фильтрации для  $\gamma_L = 0.5$ ,  $\gamma_H = 2.0$ ,  $c = 2.0$ ,  $D_0 = 2.0$ . Понятно, что подобные результаты были бы получены с использованием эквализации гистограммы или другого метода повышения яркостного контраста. Усиление контраста позволило выявить истинные детали пальто фотографа – карман, воротник и т.д. и, главное для нашей ситуации, подлинные пуговицы, которые не согласуются с созданными искусственно. Следует также обратить внимание на появление теней, что дает возможность анализировать направление источника света. Анализ теней, появившихся после повышения контрастности изображения, может быть полезным при выявлении другого вида фотомонтажа, когда два объекта/субъекта изначально принадлежат фотографиям,

выполненных в различных условиях освещенности или источники света имели различное направление.

### **Заключение**

Распространенными способами цифровых фальсификаций являются совмещение объектов/субъектов на одном изображении, взятых из разных фотографий или создание объектов искусственно при помощи графических редакторов.

Анализ контрастности изображения, подлинность которого требуется установить, может быть полезным при обнаружении следов фальсификации.

В результате повышения контрастности изображения одним из пространственных или частотных методов, могут обнаружиться несоответствия, как в освещенности отдельных объектов изображения, так и в их расположении, что свидетельствует о том, что не все объекты/субъекты изображения изначально принадлежали одной и той же сцене.

Предложенный в данной работе подход обнаружения фальсификаций прост в реализации и не требует машинной обработки результатов (как правило, достаточно визуального анализа), хотя в более сложных случаях может комбинироваться с существующими методами обнаружения фальсификаций, например, с методом определения направления источника освещения, описанного в [4]. Следует также отметить, что геометрические преобразования (изменение размера объектов, поворот и т.д.) или наложение небольшого шума в целях сокрытия следов внедрения объектов в изображение, не принадлежащих ему ранее, не влияют на результаты, как показывает вычислительный эксперимент.

К недостаткам следует отнести частный характер рассмотренных ситуаций, но в системе с другими методами и техниками обнаружения цифровых фальсификаций контрастная предобработка изображения может повысить качество аутентификации изображений.

Разработку новых методов и подходов с применением пространственных и частотных методов фильтрации изображения, автор считает перспективным направлением в области распознавания фотомонтажа, на что в дальнейшем и будут направлены усилия.

### **Перечень источников**

1. Popescu A. C. and Farid H. Statistical Tools for Digital Forensic. *Department of Compute Science at Dartmouth College Information Hiding*.-2004.-p.128-147.
2. Lukas J. and Fridrich J. Estimation of Primary Quantization Matrix in Double Compressed JPEG Images. Proc. Of DFRWS 2003, Cleveland, OH, August 5-8. *Department of Electrical and Computer Engineering SUNY Binghamton, Binghamton, NY 13902-6000*.
3. He J., Lin Z., Wang L. and Tang X. Detecting JPEG Images Via DCT Coefficient Analysis/ECCV(3) 2006: 423-435.
4. Johnson M. K. and Farid H. Exposing Digital Forgeries by Detecting Inconsistencies in Lighting. *ACM Multimedia and Security Workshop*. New York, 2005, p. 1-10.
5. Lukas J., Fridrich J. and Goljan M. Detecting Digital Image Forgeries Using Sensor Pattern Noise. *Department of Electrical and Computer Engineering SUNY Binghamton, Binghamton, NY 13902-6000*.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005.- 1072с.

Надійшла: 09.04.2020

Рецензент: д.т.н., професор Гайдур Г.І.