

УДК 004.056.5

## РОЗВИТОК МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ КЛОНУВАННЯ У ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ В УМОВАХ ДОДАТКОВИХ ЗБУРНИХ ДІЙ

*Григоренко Світлана*

*Одеський національний політехнічний університет*

### DEVELOPMENT OF METHOD FOR DETECTION OF CLONING IN DIGITAL IMAGES UNDER ADDITIONAL DISTURBING INFLUENCES

*Grigorenko Svetlana*

*Odessa national polytechnic university*

*Анотація.* Здійснено подальший розвиток методу виявлення клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій, заснованого на геометричній порівнянності частин поверхні, яка ставиться у відповідність аналізованому зображенню, що відповідають клону і його прообразу. Запропонований розвиток методу дає можливість деталізувати й конкретизувати його кроки для наступної алгоритмічної реалізації.

*Ключові слова:* Цифрове зображення, клонування, матриця цифрового зображення, збурні дії, шум, стиск із втратами.

*Summary:* The author propose a new method for the detection of cloning results under additional disturbing influences, based on the identification of geometric comparability of parts of surface which is associated with the analyzing image, corresponding to the clone and its prototype. The proposed development of the method makes it possible to detail and concretize the method steps, which is necessary for its algorithmic implementation.

*Keywords:* Digital image, cloning, matrix digital image, disturbance action, noise, compression with losses.

#### Вступ

Клонування є сьогодні одним із самих часто використовуваних програмних інструментів при фальсифікації цифрових зображень (ЦЗ). При клонуванні відбувається заміщення деякої області (областей) ЦЗ іншою його ж областю.

Будемо далі називати клоном результат заміщення оригінальної області зображення, а ту частину ЦЗ, що використовувалася для організації заміщення - прообразом.

Клонування реалізоване у всіх сучасних графічних редакторах, зокрема, в Adobe Photoshop, Gimp і ін., що робить актуальною задачу виявлення його результатів, перевірки цілісності зображень у тому випадку, коли вірогідність важлива в процесі їхнього використання. І хоча ця задача не є новою [1] – [4] вона не знайшла поки свого остаточного рішення, зокрема, в умовах дуже ймовірних додаткових збурних дій на зображення після здійснення клонування. Дійсно, при проведенні будь-яких неавторизованих змін ЦЗ їх «автор» зацікавлений у приховуванні «слідів» своєї

діяльності. Із цією метою після проведення клонування, як правило, ЦЗ піддається додатковій обробці, зокрема, накладанню шуму, стиску із втратами й т.д., що ускладнює пошук областей клону й прообразу. До цього моменту не було запропоновано методів, що однаково ефективно працюють в умовах найпоширеніших збурних дій, хоча такі спроби й були [3], [5] – [7].

В [8] був запропонований новий метод виявлення результатів клонування в умовах додаткових збурних дій, заснований на виявленні геометричної порівнянності частин поверхні, яка ставиться у відповідність аналізованому зображенню, що відповідають клону і його прообразу. Теоретичні основи методу дозволяють сподіватися на його універсальність – ефективну роботу незалежно від конкретного виду збурної дії. Однак він потребує для своєї алгоритмічної реалізації додаткових досліджень і цьому присвячена дана робота.

### Мета статті й постановка задач

Метою роботи є подальший розвиток методу виявлення областей клонування в ЦЗ в умовах додаткових збурних дій, запропонованого в [8], для отримання можливості його алгоритмічної реалізації.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Визначити можливі параметри збурних дій на ЦЗ, що зберігають його надійність сприйняття.

2. Визначити кількісні показники відмінності між блоками клону і його прообразу в умовах додаткових збурних дій, у тому числі комплексних.

### Основна частина

Теоретичний базис методу, запропонованого в [8], не залежить від специфіки збурних дій на ЦЗ (важливо тільки, щоб ці дії були однаковими в межах областей клону й прообразу). Тому метод дає принципову можливість ефективної роботи в умовах будь-яких додаткових збурень.

Далі припускається, що клонування здійснюється за умови, що є хоча б пара непересічних відповідних  $q \times q$  – блоків ЦЗ, які належать областям клону й прообразу. Назвемо це умовою (А). Саме такі блоки й будуть розглядатися далі.

Для спрощення викладення методу, не обмежуючи спільності міркувань, як формальне представлення ЦЗ використовується одна двовимірна  $n \times m$  – матриця  $F$  з елементами  $f_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ . При моделюванні збурних дій на ЦЗ на цьому етапі досліджень будемо використовувати шуми гауссівський, мультиплікативний, пуассонівський, шум «соль-перець», стиск із втратами, подібно тому, як моделювання збурень представлено в [3], [5], [6].

«Автор» фальсифікації зображення зацікавлений в тому, щоб не повернути до такого зображення додаткової уваги експерта. У силу цього, по-перше, з урахуванням широкого використання в даний момент форматів із втратами для передачі й зберігання ЦЗ, змінене зображення буде з великою ймовірністю збережено із втратами

(що приведе до його додаткового збурення), причому найімовірніше у найпоширенішому форматі Jpeg. По-друге, результат додаткових збурних дій не повинен привести до виникнення видимих артефактів на ЦЗ. Це вимагає вибору таких параметрів дій, які б забезпечили надійність сприйняття зображення після їх застосування.

Для визначення можливих параметрів збурних дій у середовищі Matlab був проведений обчислювальний експеримент, у якому було задіяно 400 ЦЗ із традиційної при роботі із зображеннями бази NRCS [9]. Далі ця множина ЦЗ називається експериментальною множиною (ЕМ), яка в ході експерименту збурювалася різним чином. Як кількісна оцінка надійності сприйняття отриманого ЦЗ використовувалося пікове відношення «сигнал-шум» PSNR, яке визначається відповідно до формули:

$$PSNR = 10 \cdot \lg \left( 255^2 / \left( \frac{1}{mn} \sum_{i,j} (f_{ij} - \bar{f}_{ij})^2 \right) \right),$$

де  $\bar{f}_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ , – елементи матриці  $\bar{F}$  зміненого ЦЗ.

Подібним чином у сучасних наукових публікаціях оцінюється надійність сприйняття отриманого ЦЗ. При цьому у випадку  $PSNR > 37dB$  будемо вважати, що надійність сприйняття ЦЗ при такій збурній дії збережена [10]. Хоча суб'єктивна оцінка якості зображення може бути й іншою. Результати експерименту відображені в табл. 1, де жирним шрифтом позначені прийнятні в умовах задачі, що розглядається, значення PSNR.

Надалі при моделюванні збурних дій шум «сіль і перець» використовуватися не буде. Це тому, що навіть при прийнятному значенні PSNR (табл. 1) його накладання приводить до виникнення явних артефактів на збуреному ЦЗ (рис. 1). Аналогічний висновок робиться для пуассонівського шуму. Таким чином, як збурні дії, обираються: гауссівський шум з нульовим маточікуванням і  $D \leq 0.0005$  ( $D \in \{0.0005, 0.0001\}$ ); мультиплікативний шум з  $D \leq 0.001$  ( $D \in \{0.0005, 0.001\}$ ); стиск із коефіцієнтом якості QF від 65 до 95.

**Середні значення PSNR у результаті накладання збурних дій на ЦЗ усіх зображень з експериментальною множиною**

Гауссівський шум з нульовим маточікуванням				Мультиплікативний шум				«Сіль і перець»		Пуассонівський шум
D=0.0001	D=0.0005	D=0.001	D=0.005	D=0.0005	D=0.001	D=0.005	D=0.01	d=0.02	d=0.001	
43.8	39.1	34.5	28.3	42.8	40.4	33.2	30.9	26.2	39.0	33.1
Перезбереження ЦЗ в формат з втратами (Jpeg)										
Формат поданого ЦЗ	QF=95	QF=85	QF=75	QF=65	QF=55	QF=45	QF=35	QF=25		
Tif	49.0	46.8	45.4	44.0	43.4	42.6	41.5	39.0		
Jpeg	50	41.6	40.3	36.4	35.5	35.1	34.4	34.1		

Як комплекс збурних дій на ЦЗ після здійснення клонування розглядалося накладання шумів із зазначеними вище параметрами з наступним стиском ЦЗ із коефіцієнтами якості  $QF \in \{65,75,85\}$  (як найпоширеніші і ймовірні). Результати експерименту наведені в табл. 2. 3

урахуванням результатів суб'єктивного ранжирування, отриманих у результаті комплексу збурень ЦЗ, навіть у випадку  $PSNR < 37dB$  будемо вважати розглянуті комплекси збурень (табл. 2) можливими при створенні фальсифікації зображення шляхом клонування.



**Рис. 1.** Результати накладання шуму на ЦЗ: а – «сіль і перець» ( $d=0.02$ ); б – «сіль і перець» ( $d=0.001$ ); в – пуассонівський шум

В [8] складовою частиною запропонованого методу виявлення клонування в умовах додаткових збурних дій є формування матриці блокових відмінностей  $M^{(ij)}$  з елементами  $m^{(i,j)}_{k,l}$ ,  $k = \overline{1, n-q+1}, l = \overline{1, m-q+1}$ , для кожного  $q \times q$ -блоку  $B_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n-q+1}, j = \overline{1, m-q+1}$ , матриці  $F$  ЦЗ, що аналізується ( $B_{ij}$  –  $q \times q$ -підматриця  $F$ , у якій на місці (1,1) знаходиться елемент  $f_{ij}$ ). Елементи  $M^{(ij)}$  визначаються наступним чином:

$$m^{(i,j)}_{k,l} = \sum_{t,p=1}^q r_{tp}, k = \overline{1, n-q+1}, l = \overline{1, m-q+1}, \quad (1)$$

де  $r_{tp}, t, p = \overline{1, q}$ , — елементи  $q \times q$ -матриці  $R$ :

$$R = |B_{ij} - B_{kl}|. \quad (2)$$

Елементи  $M^{(ij)}$  відображають відмінність блоку  $B_{ij}$  від будь-якого іншого блоку матриці ЦЗ в сенсі (1) і (2).

Таблиця 2

**Значення PSNR (dB) після накладання комплексних збурних дій на цифрове зображення**

Формат поданого ЦЗ	Гауссівський шум								Мультиплікативний шум							
	D=0.0001				D=0.0005				D=0.0005				D=0.001			
	Наступне збереження в Jpeg с коефіцієнтом якості QF				Наступне збереження в Jpeg с коефіцієнтом якості QF				Наступне збереження в Jpeg с коефіцієнтом якості QF				Наступне збереження в Jpeg с коефіцієнтом якості QF			
	QF=95	QF=85	QF=75	QF=65	QF=95	QF=85	QF=75	QF=65	QF=95	QF=85	QF=75	QF=65	QF=95	QF=85	QF=75	QF=65
Tif	43.6	42.3	41.9	41.1	39.0	38.8	36.9	36.5	42.7	42.5	42.3	40.0	40.3	40.0	39.5	38.7
Jpeg	43.7	38.9	37.2	36.3	36.9	36.7	36.6	36.2	41.9	38.5	37.0	36.1	38.7	37.5	36.7	36.0

З урахуванням умови (А), а також того, що за умови відсутності додаткових збурних дій на ЦЗ після здійснення клонування ті області матриці, що відповідають клону й прообразу, співпадають за значеннями відповідних елементів, висувається наступна гіпотеза: в умовах додаткових збурних дій для блоку  $B^K$  клону ЦЗ мінімальна відмінність його від усіляких блоків матриці ЦЗ, що відрізняються від  $B^K$ , буде досягатися на відповідному блоці  $B^P$  прообразу й навпаки.

Очевидно, що мінімальним елементом  $M^{(ij)}$  буде  $m^{(i,j)}_{ij} = 0$ , який відображає відмінність  $B_{ij}$  від самого себе. Як показує

обчислювальний експеримент, малими, у порівнянні з іншими елементами  $M^{(ij)}$ , будуть також елементи, що є найближчими сусідами  $m^{(i,j)}_{ij}$ :  $m^{(i,j)}_{kl}, k = i-1, i+1, l = j-1, j, j+1$ . Однак малість цих елементів не є показником схожості блоків, які їм відповідають у розглядаємому в роботі сенсі (див. умову (А)), оскільки відображає відмінність блоку  $B_{ij}$  від тих, які відрізняються від нього самого на 1 по своєму місцю розташування, маючи значне перетинання з  $B_{ij}$ . Тому для зручності наступних досліджень елемент  $m^{(i,j)}_{ij}$  і його 8 найближчих сусідів покладаються рівними свідомо великому числу у порівнянні з іншими елементами  $M^{(ij)}$ .

Нова матриця позначається  $\overline{M}^{(ij)}$ . Тому висунута вище гіпотеза трансформується в наступну: мінімуми матриць  $\overline{M}^{(ij)}$  і  $\overline{M}^{(kl)}$ , що побудовані для  $B^K = B_{ij}$  і для  $B^P = B_{kl}$ , будуть співпадати й досягатися в елементах, що відповідають блокам  $B^P$  і  $B^K$  відповідно.

Для перевірки цієї гіпотези був проведений обчислювальний експеримент, у якому були задіяні ЦЗ із ЕМ. У ході експерименту ЦЗ піддавалися клонуванню (з різними розмірами блоку:  $q \in \{32, 24, 16\}$ ) з наступним накладанням різних шумів з різними параметрами. Після цього відбувалося збереження зображення у форматах без/з втратами (Tif/Jpeg (з різними коефіцієнтами якості QF)). Для отриманих зображень з врахуванням того, що  $B^K = B_{ij}$  і  $B^P = B_{kl}$ , будувалися матриці  $\overline{M}^{(ij)}$  і  $\overline{M}^{(kl)}$ , для яких визначалися мінімальні значення і їхнє місце розташування. ЦЗ підтверджувало гіпотезу якщо  $\min \overline{M}^{(ij)} = \min \overline{M}^{(kl)}$  і при цьому місця розташування цих мінімумів у межах відповідних матриць відповідали дійсному

місцю розташування блоків клону й прообразу в ЦЗ. При невиконанні якої-небудь із наведених умов фіксувалася «помилка». Результати наведені в табл. 3. Використовуються наступні позначення: I - середнє значення по усім ЦЗ з ЕМ  $\min \overline{M}^{(ij)} = \min \overline{M}^{(kl)}$ ; II, III – мінімальне, максимальне значення  $\min \overline{M}^{(ij)} = \min \overline{M}^{(kl)}$  по усім ЦЗ з ЕМ відповідно; IV – кількість ЦЗ із ЕМ, для яких мала місце «помилка», виражена у відсотках. Користуючись табл. 3, отримуємо значення  $T_{min}^{(q)}$  і  $T_{max}^{(q)}$  відповідно для мінімальної й максимальної в умовах розглянутих збурних дій відмінності в сенсі (1) – (2)  $q \times q$  – блоку клону від відповідного блоку прообразу: для  $q = 32$   $T_{min}^{(32)} = 408$ ,  $T_{max}^{(32)} = 10147$ ; для  $q = 24$   $T_{min}^{(24)} = 309$ ,  $T_{max}^{(24)} = 5940$ ; для  $q = 16$   $T_{min}^{(16)} = 60$ ,  $T_{max}^{(16)} = 2849$ . Також можна визначити аналогічні порогові значення окремо для кожної із збурних дій.

Таблиця 3

Кількісні оцінки відмінності між блоками клону й прообразу в сенсі (1)-(2)

Розмір блоку	Тип шуму	Параметри шуму	Формат збереження ЦЗ після клонування	I	II	III	IV	
32×32	Гауссівський	D=0.0001	Tif	2930	2208	3104	0	
			Jpeg	QF=85	4068	2183	5764	0
				QF=75	4357	2113	6764	0
		QF=65		4680	1900	7375	0	
		D=0.0005	Tif	6544	4561	7138	1	
			Jpeg	QF=85	7242	4429	8592	1
	QF=75			6656	4177	9458	1	
	QF=65	6799		3900	10147	1		
	Мульти-плікативний	D=0.0005	Tif	2650	408	6258	0.5	
			Jpeg	QF=85	3930	1169	6231	0.5
				QF=75	4240	1142	7661	0.5
		QF=65		4572	1252	7603	0.5	
D=0.001		Tif	3742	707	7770	1		
		Jpeg	QF=85	4796	1240	7536	1	
	QF=75		4941	1370	8572	1		
QF=65	5207		1446	8807	0.5			

Продовження таблиці 3

24×24	Гауссівський	D=0.0001	Tif	1649	1277	1753	0	
			Jpeg	QF=85	2325	1181	3670	0
				QF=75	2549	1094	4307	0
		QF=65	2746	1068	4369	0.5		
		D=0.0005	Tif	3687	2593	3994	3	
			Jpeg	QF=85	4071	2661	4970	2.5
	QF=75			3946	2400	5467	2.5	
	QF=65	3889	2080	5940	1.5			
	Мульти-Плікативний	D=0.0005	Tif	1472	309	4917	0.5	
			Jpeg	QF=85	2245	701	3470	1
				QF=75	2368	634	4261	1.5
		QF=65	2597	711	4290	1		
D=0.001		Tif	1967	501	4209	1.5		
		Jpeg	QF=85	2564	711	4095	2	
	QF=75		2671	731	4511	2		
QF=65	2690	801	4712	3				
16×16	Гауссівський	D=0.0001	Tif	911	501	1123	1.5	
			Jpeg	QF=85	1007	546	1241	1.5
				QF=75	1111	678	1535	2
		QF=65	1247	654	1987	3		
		D=0.0005	Tif	1698	901	2145	3.5	
			Jpeg	QF=85	1814	959	2297	4
	QF=75			1746	811	2611	5	
	QF=65	1800	875	2849	5			
	Мульти-плікативний	D=0.0005	Tif	662	60	1360	0.5	
			Jpeg	QF=85	1068	322	1717	1
				QF=75	1229	344	1981	2
		QF=65	1338	355	2467	3.5		
D=0.001		Tif	1043	235	2290	2		
		Jpeg	QF=85	1376	401	2211	2	
	QF=75		1398	484	2268	3		
QF=65	1478	489	2329	4				

Основним об'єктом аналізу, що фігурує у методі, запропонованому в [8], є  $(n-q+1) \times (m-q+1)$  – матриця  $G$  з елементами  $g_{ij}, i = \overline{1, n-q+1}, j = \overline{1, m-q+1}$ , яка ставиться у відповідність ЦЗ з матрицею  $F$ . При цьому:  $g_{ij} = \min \overline{M^{(ij)}}, i = \overline{1, n-q+1}, j = \overline{1, m-q+1}$ .

В [8] теоретично обґрунтовано, що блокам  $B_{ij}$  і  $B_{kl}$  клону і прообразу в матриці  $G$  будуть відповідати її співпадаючі локальні (але можливо будуть і глобальними) мінімуми:

$$g_{ij} = g_{kl}. \quad (3)$$

Це є показником наявності клонування й його місця розташування. Однак на практиці в силу наявності різних збурних дій отримане твердження може порушуватися: ЦЗ, для яких мала місце «помилка» в описаному вище експерименті (див. останній стовпець табл.3), потенційно є такими, для яких клонування може бути не розпізнане за допомогою тільки (3) у силу того, що значення  $\min \overline{M^{(ij)}}$  і  $\min \overline{M^{(kl)}}$ , які попали для блоків  $B_{ij}$  і  $B_{kl}$  в

матрицю  $G$ , можуть не відповідати клону й прообразу.

Для уточнення областей клону/прообразу з метою розвитку методу з [8], пропонується побудова множини «перерізів» виду  $c_1 \leq z \leq c_2$ ,  $c_1, c_2 = const$ ,  $c_1, c_2 \in N$ , (де  $N$  – множина натуральних чисел) поверхні, що є графіком функції, яка інтерполіює елементи матриці  $G$ . Насправді ми отримуємо місця розташування тих блоків ЦЗ, для яких мінімальна відмінність їх від усіх інших блоків у сенсі (1) – (2) знаходиться в межах сегмента  $[c_1, c_2]$ . Побудова «перерізів» здійснюється відповідно до методу, що далі називається *методом ділення відрізка навпіл для дослідження властивостей матриці  $G$* , основні кроки якого наступні:

*Крок 1.* З урахуванням специфіки аналізованого ЦЗ або розмірів «підозрілої» з погляду клонування області вибрати розмір  $q$  блоку, за допомогою якого буде аналізуватися ЦЗ.

*Крок 2.* Визначити значення порогів  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  для можливих значень елементів  $G$ , що відповідають (3), тобто блокам клону і прообразу. В умовах обраного  $q$ :  $T_{min} = T_{min}^{(q)}$ ,  $T_{max} = T_{max}^{(q)}$ , а в умовах відомих додаткових збурних дій на ЦЗ після проведеного клонування  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  визначаються з табл.3. У тому випадку, якщо інформація про збурні дії відсутня, а розмір блоку не визначений однозначно, як пороги слід використовувати значення  $T_{min} = \min_q T_{min}^{(q)}$ ,  $T_{max} = \max_q T_{max}^{(q)}$ .

*Крок 3 (ділення відрізка навпіл).*

3.1. Покласти:  $a = T_{min}$ ,  $b = T_{max}$ ,  $c = (a + b)/2$ .

3.2. Побудувати «перерізи» поверхні, яка є графіком функції, що інтерполіює елементи  $G$ :  $a \leq z \leq c$ ,  $c \leq z \leq b$ , представити їх у вигляді бінарних ЦЗ, де елементам  $G$  (відповідним блокам аналізованого ЦЗ), значення яких попадають в сегмент  $[a, c]$ ,  $[c, b]$ , відповідають області одного кольору

(наприклад білого) відповідних бінарних ЦЗ.

3.3. Покласти:  $k_1 = 0$ ,  $k_2 = 0$ .

3.4. (Аналіз «перерізів» у вигляді бінарних зображень).

3.4.1. Якщо «переріз»  $a \leq z \leq c$  має однакові об'єкти білого кольору, які обмежені замкненими кривими, то  $k_1 = k_1 + 1$ . Якщо площа однакових об'єктів дорівнює 1 (об'єкт - 1 піксель), то здійснюється перехід на крок 4.

3.4.2. Якщо «переріз»  $c \leq z \leq b$  має однакові об'єкти білого кольору, які обмежені замкненими кривими, то  $k_2 = k_2 + 1$ . Якщо площа однакових об'єктів дорівнює 1 (об'єкт - 1 піксель), то здійснюється перехід на крок 4.

3.4.3. Якщо  $k_1 = 1, k_2 = 0$ , то із двох «перерізів» для подальшого аналізу використовується  $a \leq z \leq c$ . Покласти:  $b = c$ . Обчислити значення середини нового відрізка  $[a, b]$ :  $c = (a + b)/2$  і перейти на крок 3.2.

3.4.4. Якщо  $k_1 = 0, k_2 = 1$ , то із двох «перерізів» для подальшого аналізу використовується  $c \leq z \leq b$ . Покласти:  $a = c$ . Обчислити значення середини нового відрізка  $[a, b]$ :  $c = (a + b)/2$  і перейти на крок 3.2.

3.4.5. Якщо  $k_1 = k_2 = 1$ , то із двох «перерізів» обрати той, на якому однакові об'єкти менші за розмірами. У випадку, якщо це «переріз»  $a \leq z \leq c$ , то покласти:  $b = c$ , інакше:  $a = c$ . Обчислити значення середини нового відрізка  $[a, b]$ :  $c = (a + b)/2$  і перейти на крок 3.2.

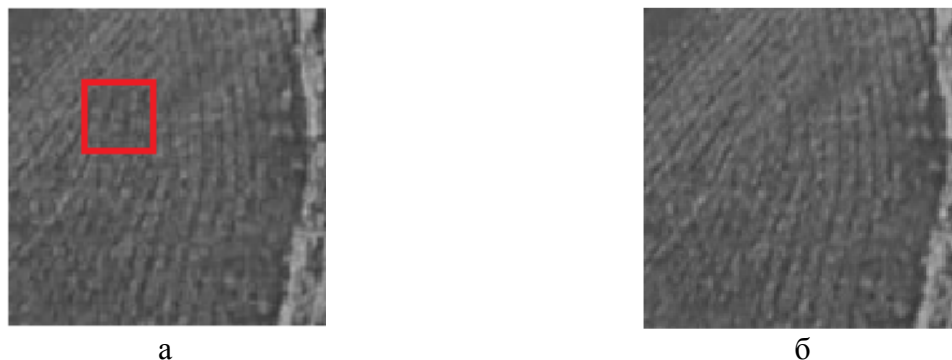
3.4.6. Якщо  $k_1 = k_2 = 0$  і  $c - a > P$ , де  $P$  – порогове значення, що визначається експериментальним шляхом, то обидва перерізи потребують подальшого аналізу. Для кожного з них: покласти  $a$  рівним лівому кінцю сегмента, що визначає «переріз»,  $b$  – правому кінцю сегмента, що визначає «переріз» і перейти на крок 3.2.

*Крок 4.* Якщо  $k_1 = k_2 = 0$  для кожного з побудованих «перерізів», то аналізоване ЦЗ не піддавалося клонуванню.

Якщо  $k_1 = 1$  чи  $k_2 = 1$ , то аналізоване ЦЗ піддавалося клонуванню. Відповідні блоки областей клону й прообразу визначаються ізольованими однаковими об'єктами білого кольору площі 1 (1 піксель) на останньому бінарному зображенні-перерізі.

Проілюструємо роботу запропонованого методу, обчислювальна складність якого становить  $O(nm)^2$  операцій для зображення з  $n \times m$  – матрицею, на ЦЗ, яке піддалося

клонуванню з наступним накладанням на зображення гауссівського шуму з нульовим математичним очікуванням  $D = 0.0001$ , збереженням у форматі Jpeg з QF=75 (рис. 2.а), і оригінальному ЦЗ (рис. 2.б). Зображення навмисно обране без явно виражених об'єктів, що у загальному випадку може ускладнити рішення задачі, яка розглядається.

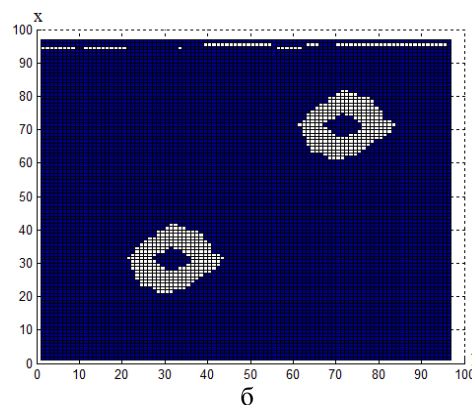
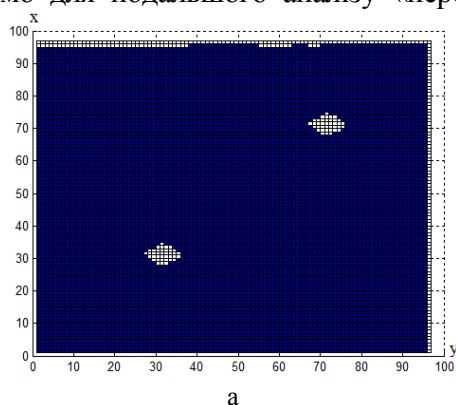


**Рис. 2.** ЦЗ, що використовуються для ілюстрації роботи методу ділення відрізка навпіл дослідження властивостей матриці  $G$  : а – ЦЗ, що є результатом клонування в умовах додаткових збурних дій; б – оригінальне ЦЗ

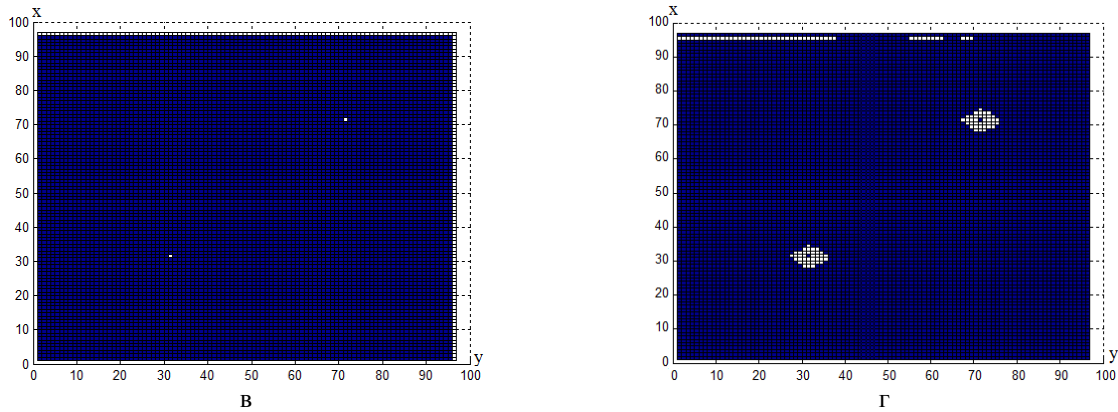
Розглянемо спочатку фальсифіковане ЦЗ (рис. 2.а). Використовуємо при аналізі блоки середнього розміру:  $q = 24$ . З табл. 3 отримуємо:  $T_{min} = 1094$ ,  $T_{max} = 4307$ . Значення  $P = 300$  встановлено експериментальним шляхом.

Рис. 3.(а, б) ілюструє «перерізи» поверхні, яка відповідає матриці  $G$  фальсифікованого зображення, у вигляді бінарних зображень, отриманих для першої розбивки відрізка  $[a, b] = [T_{min}, T_{max}]$  навпіл. Обидва «перерізи» мають однакові об'єкти, обмежені замкнутими кривими:  $k_1 = k_2 = 1$ . Відповідно кроку 3.4.5 обираємо для подальшого аналізу «переріз»

$1094 \leq z \leq 2700$  (рис. 3.а). Ділимо відрізок  $[1094, 2700]$  навпіл і будуємо два «перерізи» (рис. 3.(в, г)), з яких обираємо  $1094 \leq z \leq 1897$ . Це завершує процес, оскільки площа однакових (крапкових) об'єктів на відповідному бінарному зображенні дорівнює 1. Оскільки  $k_1 = k_2 = 1$ , то робиться висновок про проведені клонування, встановлюється місце розташування блоків областей клону й прообразу (рис. 3.в): (31, 31), (71, 71), що відповідає дійсності.



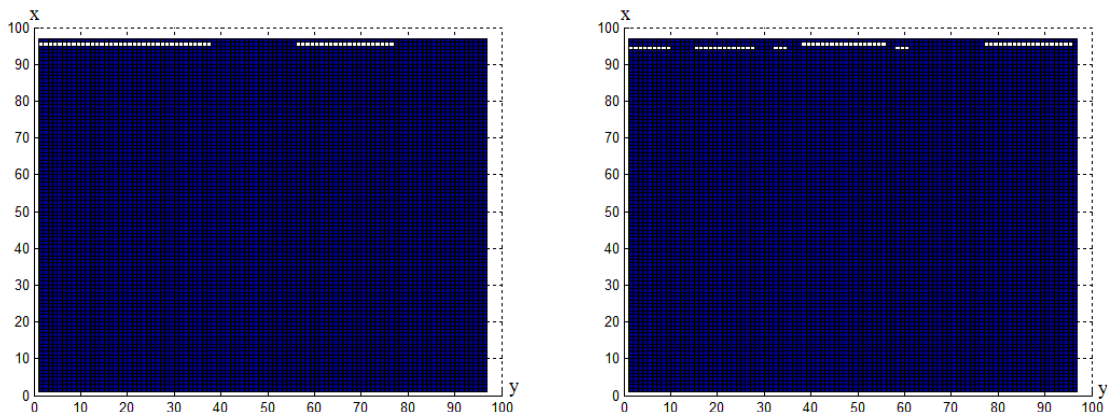




**Рис. 3.** Послідовність «перерізів» поверхні, що відповідає матриці  $G$ , для ЦЗ, підданого операції клонування в умовах додаткових збурень: а –  $1094 \leq z \leq 2700$ ; б –  $2701 \leq z \leq 4307$ ; в –  $1094 \leq z \leq 1897$ ; г –  $1898 \leq z \leq 2700$

Розглянемо тепер оригінальне ЦЗ (рис. 2.б), використовуючи при аналізі ті ж значення параметрів методу. На рис. 4 зображені «перерізи» поверхні, яка відповідає матриці  $G$  цього зображення, у вигляді бінарних зображень, отриманих для першої розбивки відрізка  $[a, b] = [T_{min}, T_{max}]$  навпіл. Подальша розбивка відрізка ніяк не

змінила якісно «перерізи», які отримувалися (не наведені в силу обмеженості обсягу статті): однакові об'єкти, обмежені замкнутими кривими, на «перерізах» виявлені не були,  $k_1 = k_2 = 0$ . На кроці 4 робиться висновок про відсутність клонування і це відповідає дійсності.



**Рис. 4.** Послідовність «перерізів» поверхні, що відповідає матриці  $G$ , для оригінального ЦЗ: а –  $1094 \leq z \leq 2700$ ; б –  $2701 \leq z \leq 4307$

### Висновки

У роботі здійснений подальший розвиток методу виявлення клонування в ЦЗ, запропонованого в [8] за умови додаткових збурних дій шляхом визначення кількісних показників можливої відмінності між відповідними блоками клону і його прообразу, з урахуванням можливих параметрів збурних дій, що зберігають надійність сприйняття зображення. Основним об'єктом аналізу є матриця  $G$ , що ставиться у відповідність

зображенню, елементи якої визначають для відповідного блоку зображення його мінімальну відмінність від будь-якого іншого блоку.

Отриманий розвиток методу дає можливість деталізувати й конкретизувати кроки методу в частині дослідження властивостей поверхні, яка є графіком функції, що інтерполуює елементи матриці  $G$ . Це сприяє можливості алгоритмічної реалізації методу і над вирішенням цієї задачі чим продовжує роботу автор.

**Список використаної літератури:**

- [1] J. Fan, *Modeling the exif-image correlation for image manipulation detection* / J. Fan, A.C. Kot, H. Cao, F.Sattar // International Conference on Image Processing. — 2011. — С.1945-1948.
- [2] C. Riess, *Scene illumination as an indicator of image manipulation* / C. Riess, E. Angelopoulou // International Conference on Information Hiding. — 2010. — С. 66–80.
- [3] Pooja S. Kotkar, *Detecting Region Duplication Forgery in Digital Image using SIFT Features* / Pooja S. Kotkar, S. S. Shriramwar // International Journal of Current Engineering and Technology. — 2014. — Т.4. — №3. — С.1437-1440.
- [4] M. K. Johnson, *Exposing digital forgeries through specular highlights on the eye* / M. K. Johnson, H. Farid // 9th International Conference on Information. — 2007. — Т. 4567. — С.311–325.
- [5] H. Huang, *Detection of copy-move forgery in digital images using SIFT algorithm* / H. Huang, W. Guo, Y. Zhang // IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intell. and Industrial Application. — 2008. — Vol. 2. — P. 272–276.
- [6] A. N. Myna, *Detection of region duplication forgery in digital images using wavelets and log-polar mapping* / A. N. Myna, M. G. Venkateshmurthy, C. G. Patil // In International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications. — 2007. — Vol.3. — PP.371–377.
- [7] А. А. Кобозева, *Основы метода выявления клонированных участков изображения, подвергнутых коррекции цвета* / А. А. Кобозева, Е. Ю. Лебедева // Збірник наукових праць Військового інституту КНУ ім. Т. Шевченка. — 2013. - №44. — С.96-102.
- [8] *Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах: монография* / Под ред. В. С. Пономаренко. — Х. : Вид. ТОВ “Щедра садиба плюс”, 2016. — 628 с.
- [9] *NRCS Photo Gallery: [Електронний ресурс]* // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Режим доступа: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (Дата обращения: 26.07.2012).
- [10] Г. Ф. Коначович, *Компьютерная стеганография: теория и практика* / Г. Ф. Коначович, А. Ю. Пузыренко. — Киев : МК-Пресс, 2006. — 288 с.
- Conference on Image Processing. — 2011. — S.1945-1948.
- [2] C. Riess, *Scene illumination as an indicator of image manipulation* / C. Riess, E. Angelopoulou // International Conference on Information Hiding. — 2010. — S. 66–80.
- [3] Pooja S. Kotkar, *Detecting Region Duplication Forgery in Digital Image using SIFT Features* / Pooja S. Kotkar, S. S. Shriramwar // International Journal of Current Engineering and Technology. — 2014. — Т.4. — #3. — S.1437-1440.
- [4] M. K. Johnson, *Exposing digital forgeries through specular highlights on the eye* / M. K. Johnson, H. Farid // 9th International Conference on Information. — 2007. — Т. 4567. — S.311–325.
- [5] H. Huang, *Detection of copy-move forgery in digital images using SIFT algorithm* / H. Huang, W. Guo, Y. Zhang // IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intell. and Industrial Application. — 2008. — Vol. 2. — R. 272–276.
- [6] A. N. Myna, *Detection of region duplication forgery in digital images using wavelets and log-polar mapping* / A. N. Myna, M. G. Venkateshmurthy, C. G. Patil // In International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications. — 2007. — Vol.3. — PP.371–377.
- [7] А. А. Кобозева, *Osnovu metoda vuyavlennya klonirovannukh uchastkov yzobrazheniya, podverhnutukh korrektsyy tsveta* / А. А. Кобозева, Е. Ю. Лебедева // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu KNU im. T. Shevchenka. — 2013. - #44. — S.96-102.
- [8] *Ynfformatsyonnye tekhnolohyy y zashchyta ynfformatsyy v ynfformatsyonno-kommunykatyionnykh systemakh: monohrafyia* / Pod red. V. S. Ponomarenko. — Kh. : Vyd. TOV “Shchedra sadyba plius”, 2016. — 628 s.
- [9] *NRCS Photo Gallery: [Elektronnyi resurs]* // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Rezhym dostupa: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (Data obrashcheniya: 26.07.2012).
- [10] Н. Ф. Коняхович, *Kompiuternaia stehanohafyia: teoriya y praktyka* / Н. Ф. Коняхович, А. Ю. Пузыренко. — Киев : МК-Press, 2006. — 288 s.

**Реферат**

*Григоренко Світлана*  
**Розвиток методу виявлення клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій**

Клонування є сьогодні одним із самих часто використовуваних програмних

інструментів при фальсифікаціях цифрових зображень, який реалізований у всіх сучасних графічних редакторах, що робить актуальною задачу виявлення його результатів, перевірки цілісності зображень у тому випадку, коли їх вірогідність важлива в процесі їхнього використання.

При проведенні клонування, як правило, зображення піддається додатковій обробці, що ускладнює пошук областей клону й прообразу. До цього моменту в відкритих джерелах не було запропоновано методів, що однаково ефективно працюють в умовах найпоширеніших збурних дій.

Нещодавно автором запропонований новий метод виявлення результатів клонування в умовах додаткових збурних дій, заснований на виявленні геометричної порівнянності частин поверхні, яка ставиться у відповідність аналізованому зображенню, що відповідають клону і його прообразу. Як збурні дії розглядаються: накладання різних шумів з різними параметрами, стиск зображення із втратами з різними коефіцієнтами якості, а також комплекси цих дій. Параметри збурень обираються таким чином, щоб результуюче зображення зберігало надійність сприйняття.

Теоретичні основи методу спрямові на забезпечення його універсальності: ефективну роботу незалежно від конкретного виду збурної дії. Однак згаданий метод потребує подальшого розвитку, а для своєї алгоритмічної реалізації – додаткових досліджень, чому й присвячена дана робота. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішується задача визначення кількісних показників відмінності між блоками клону і його прообразу в умовах додаткових збурних дій, у тому числі, комплексних.

Як формальне представлення цифрового зображення розглядається двовимірна  $n \times m$  – матриця  $F$  з елементами  $f_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ . Припускається, що клонування здійснюється таким чином, що є хоча б одна пара непересічних відповідних  $q \times q$  – блоків зображення, що належать областям клону й прообразу. Саме ці блоки розглядаються в роботі. Складовою

частиною методу виявлення клонування в умовах додаткових збурних дій є формування  $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$  – матриці блокових відмінностей  $M^{(ij)}$  для кожного  $q \times q$  – блоку

$$B_{ij}, i = \overline{1, n - q + 1},$$

$j = \overline{1, m - q + 1}$ , матриці  $F$  зображення, що аналізується.  $B_{ij}$  –  $q \times q$  – підматриця  $F$ , у якій на місці  $(1, 1)$  знаходиться елемент  $f_{ij}$ .

Елементи  $M^{(ij)}$  відображають відмінність блоку  $B_{ij}$  від будь-якого іншого блоку матриці цифрового зображення в наступному

$$\text{сенсі: } m^{(i,j)}_{k,l} = \sum_{t,p=1}^q r_{tp}, \quad k = \overline{1, n - q + 1},$$

$l = \overline{1, m - q + 1}$ , де  $r_{tp}, t, p = \overline{1, q}$ , — елементи

$q \times q$  – матриці  $R = |B_{ij} - B_{kl}|$ . В роботі

висунута і перевірена гіпотеза: в умовах додаткових збурних дій для блоку  $B^k$  клону мінімальна відмінність його від усіляких блоків матриці цифрового зображення, що відрізняються від  $B^k$ , буде досягатися на відповідному блоці  $B^p$  прообразу й навпаки.

Основним об'єктом аналізу, що фігурує у методі, є  $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$  – матриця  $G$  з елементами

$$g_{ij} = \min M^{(ij)}, i = \overline{1, n - q + 1},$$

$j = \overline{1, m - q + 1}$ , яка ставиться у відповідність зображенню з матрицею  $F$ . В попередніх роботах теоретично обґрунтовано, що блокам  $B_{ij} = B^k$  і  $B_{kl} = B^p$  клону і прообразу

в матриці  $G$  будуть відповідати її співпадаючі за значеннями локальні (які можливо будуть і глобальними) мінімуми:  $g_{ij} = g_{kl}$ , що є показником наявності

клонування й його місця розташування. Але на практиці ця умова може порушуватися.

Для уточнення областей клону/прообразу з метою розвитку методу, розробленого раніше, пропонується побудова множини «перерізів» виду  $c_1 \leq z \leq c_2, c_1, c_2 = \text{const},$

$c_1, c_2 \in N$ , де  $N$  – множина натуральних чисел, поверхні, що є графіком функції, яка інтерполірує елементи матриці  $G$ , чи інакше визначення місць розташування тих блоків зображення, для яких мінімальна кількісна

відмінність їх від всіх інших блоків знаходиться в межах сегмента  $[c_1, c_2]$ . Побудова «перерізів» здійснюється відповідно до запропонованого в роботі методу ділення відрізка навпіл дослідження властивостей матриці  $G$ , обчислювальна складність якого становить  $O(nm)^2$  операцій для зображення з  $n \times m$  – матрицею. Ефективну роботу розробленого методу проілюстровано на зображеннях, одне з яких піддавалося змінам шляхом клонування та наступного додаткового збурення, а інше було оригінальним.

Запропонований розвиток методу дає можливість деталізувати й конкретизувати його кроки, що необхідно для його алгоритмічної реалізації.

*Григоренко Светлана*

#### **Развитие метода выявления клонирования в цифровом изображении в условиях дополнительных збурных действий**

Клонирование является на сегодня одним из самых часто используемых программных инструментов при фальсификациях цифровых изображений, который реализован во всех современных графических редакторах, что делает актуальной задачу выявления его результатов, проверки целостности изображений в том случае, когда их достоверность важна в процессе их использования.

При проведении клонирования, как правило, изображение подвергается дополнительной обработке, которая усложняет поиск областей клона и прообраза. До настоящего момента в открытых источниках не были предложены методы, которые одинаково эффективно работали бы в условиях наиболее распространенных возмущающих воздействий.

Недавно автором предложен новый метод обнаружения результатов клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий, основанный на выявлении геометрической сравнимости частей поверхности, которая ставится в соответствие анализируемому изображению,

отвечающих клону и его прообраза. В качестве возмущающих воздействий рассматриваются: наложение различных шумов с разными параметрами, сжатие изображения с потерями с разными коэффициентами качества, а также комплексы этих действий. Параметры возмущений выбираются таким образом, чтобы результирующее изображение сохраняло надежность восприятия.

Теоретические основы метода направлены на обеспечение его универсальности: эффективную работу независимо от конкретного вида возмущающего воздействия. Однако упомянутый метод нуждается в дальнейшем развитии, а для своей алгоритмической реализации - в дополнительных исследованиях, чему и посвящена данная работа. Для достижения поставленной цели в работе решается задача определения количественных показателей отличия между блоками клона и его прообраза в условиях дополнительных возмущающих воздействий, в том числе, комплексных.

В качестве формального представления цифрового изображения рассматривается двумерная  $n \times m$  – матрица  $F$  с элементами  $f_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ . Предполагается, что клонирование осуществляется таким образом, что имеется хотя бы одна пара непересекающихся соответствующих  $q \times q$  – блоков изображения, которые принадлежат областям клона и прообраза. Именно такие блоки рассматриваются в работе. Составной частью метода выявления клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий является формирование  $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$  – матрицы блоковых отличий  $M^{(ij)}$  для каждого  $q \times q$  – блока  $B_{ij}, i = \overline{1, n - q + 1}, j = \overline{1, m - q + 1}$ , матрицы  $F$  анализируемого цифрового изображения.  $B_{ij}$  –  $q \times q$  – подматрица  $F$ , у которой на месте  $(1, 1)$  находится элемент  $f_{ij}$ . Элементы  $M^{(ij)}$  отражают отличия блока  $B_{ij}$  от любого другого блока матрицы цифрового

изображения в следующем смысле:

$$m^{(i,j)}_{k,l} = \sum_{t,p=1}^q r_{tp}, \quad k = \overline{1, n-q+1}, \quad l = \overline{1, m-q+1},$$

где  $r_{tp}, t, p = \overline{1, q}$ , — элементы

$q \times q$  – матрицы  $R = |B_{ij} - B_{kl}|$ . В работе выдвинута и проверена гипотеза: в условиях дополнительных возмущающих воздействий для блока  $B^K$  клона минимальное отличие его от всех блоков матрицы цифрового изображения, которые отличны от  $B^K$ , будет достигаться на соответствующем блоке  $B^P$  прообраза и наоборот.

Основным объектом анализа, который фигурирует в методе, является  $(n-q+1) \times (m-q+1)$  – матрица  $G$  с

элементами  $g_{ij} = \min \overline{M^{(ij)}}$ ,  $i = \overline{1, n-q+1}$ ,

$j = \overline{1, m-q+1}$ , которая ставится в

соответствие изображению с матрицей  $F$ . В предыдущих работах теоретически обосновано, что блокам  $B_{ij} = B^K$  и  $B_{kl} = B^P$

клона и прообраза в матрице  $G$  будут соответствовать ее совпадающие по значению локальные (которые возможно окажутся и глобальными) минимумы:

$g_{ij} = g_{kl}$ , что является показателем наличия

клонирования и его местоположения. Но на практике это условие может нарушаться.

Для уточнения областей клона/прообраза с

целью развития метода, разработанного

раньше, предлагается построение множества

«сечений» вида  $c_1 \leq z \leq c_2$ ,  $c_1, c_2 = const$ ,

$c_1, c_2 \in N$ , где  $N$  – множество натуральных

чисел, поверхности, которая является

графиком функции, интерполирующей

элементы матрицы  $G$ , или иначе

определение местоположений тех блоков

изображения, для которых минимальное

количественное отличие их от всех других

блоков находится в пределах сегмента

$[c_1, c_2]$ . Построение «сечений»

осуществляется согласно предложенному в

работе методу деления отрезка пополам

исследования свойств матрицы  $G$ ,

вычислительная сложность которого

представляет  $O(nm)^2$  операций для

изображения с  $n \times m$  – матрицей.

Эффективная работа разработанного метода проиллюстрирована на изображениях, одно из которых подвергалось изменениям путем клонирования и последующего дополнительного возмущения, а другое было оригинальным.

Предложенное развитие метода дает возможность детализировать и конкретизировать его шаги, что необходимо для его алгоритмической реализации.

*Grigorenko Svetlana*

### **Development of method for detection of cloning in digital images under additional disturbing influences**

Today cloning is one of the most frequently used software tools in falsification of digital images, which is implemented in all modern graphics editors. It is making the actual the problem of detecting its results to verify the integrity of the image when its reliability is important in the process of digital images using.

Generally, during the cloning, the image is exposed by additional processing, which complicates the search as clone and its prototype. Until now in open sources were not methods that would work equally effectively under conditions of the most common disturbing influences.

The author propose a new method for the detection of cloning results under additional disturbing influences, based on the identification of geometric comparability of parts of surface which is associated with the analyzing image, corresponding to the clone and its prototype. As the disturbing influences are considered: overlay of the various noises with different parameters, image compression with losses with different coefficients of quality, as well as complexes of these actions. Parameters of disturbing influences are selected so that the resulting image preserves the reliability of perception.

Theoretical foundations of the method are focused on providing of its universality: the efficient operation regardless of the particular type of disturbing influence. However, the method needs further development and for

their algorithmic implementation needs an additional research, which this work is devoted to. To achieve this aim there is the problem of identifying of quantitative outputs of the differences between blocks of clone and its pre-image under the additional disturbing influences, including its complex in the work solves.

As a formal representation of the digital image a two-dimensional  $n \times m$  matrix  $F$  with the elements  $f_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$  is considered.

It is assumed that the cloning is carried out so that there is at least one pair of non-intersecting respective image blocks  $q \times q$  that belong to areas of clone and its prototype.

Such blocks are considered in the work.

An integral part of the method on clone detecting under the additional disturbing influences disturbing is forming  $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$ -matrix  $M^{(ij)}$  of the difference for each  $q \times q$ -block  $B_{ij}, i = \overline{1, n - q + 1}, j = \overline{1, m - q + 1}$ , matrix  $F$  of the digital analyzes image.

$B_{ij}$  --  $q \times q$ -submatrix  $F$  there is an element  $f_{ij}$  at the position (1,1). The elements  $M^{(ij)}$  reflect the unit  $B_{ij}$  unlike from any other matrix block of the digital image in the sense that 
$$m^{(i,j)}_{k,l} = \sum_{t,p=1}^q r_{tp}, \quad k = \overline{1, n - q + 1},$$
  $l = \overline{1, m - q + 1}$  where  $r_{tp}, t, p = \overline{1, q}$ , - the elements of the  $q \times q$ -matrix  $R = |B_{ij} - B_{kl}|$ .

In the work the hypothesis is proposed and tested: under the additional disturbance influences for block  $B^K$  of clone the minimal difference of block from all blocks of the digital image matrix, that different from  $B^K$ , will be achieved on the corresponding prototype unit  $B^P$  and on the contrary.

The main object of the analysis, which figures in the method is a  $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$ -matrix  $G$  with elements  $g_{ij} = \min \overline{M^{(ij)}}, i = \overline{1, n - q + 1},$

$j = \overline{1, m - q + 1}$  which is associated with the image matrix  $F$ .

In the previous works it is theorized that to the blocks  $B_{ij} = B^K$  and clone  $B_{kl} = B^P$  and inverse image of the matrix  $G$  will be correspond to matrix local coincident value (that will be possible global) minimums:  $g_{ij} = g_{kl}$  that is an indication of the presence of cloning and its location. But in practice, this condition may be violated.

To clarify areas of clone/pre-image in order to develop a method developed earlier it is proposed to construct the set of "cross-sections" in the form  $c_1 \leq z \leq c_2, c_1, c_2 = const, c_1, c_2 \in N$  where  $N$ -the set of natural numbers of the surface, which is a graph of the function that interpolating elements of the matrix  $G$ , or otherwise the determining of the locations of the image blocks, for which the minimum their quantitative difference from all other units located within segment  $[c_1, c_2]$ .

Construction of "cross-sections" is carried out according to the proposed method of division in half the length of properties of the matrix  $G$ , which has the computational complexity  $O(nm)^2$  of the operations for the image with the  $n \times m$ -matrix.

Efficient operation of this method is illustrated in the images, one of which been altered by cloning and subsequent additional disturb influencing, and the other was the original.

The proposed development of the method makes it possible to detail and concretize the method steps, which is necessary for its algorithmic implementation.

### Відомості про автора

**Григоренко Світлана Миколаївна**

**Освіта:** вища, спеціальність – системи управління та автоматика (2000).

**Місце роботи:** Одеський національний політехнічний університет.

**Область знань:** системи захисту інформації.

**Наукові інтереси:** інформаційна безпека, математичні методи моделювання, робототехніка.

**Email:** sn\_torchuk2012@mail.ru