

МЕТОДИ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЗОБРАЖЕНЬ РІЗНИХ КЛАСІВ

Національний авіаційний університет

kszi@ukr.net

olga_veselskaya@ukr.net

Досліджено різні методи фільтрації та класи цифрових зображень. Реалізовано метод частотної фільтрації для цифрових зображень та досліджено міру спотворення цифрового зображення в залежності від класу зображення, окремо для кожної компоненти колірної моделі. Дослідження проводилися на цифрових статичних зображеннях різних класів з використанням методів частотної фільтрації, що були реалізовані на прикладному програмному забезпеченні. Отримано процедури видалення сегментів спектру трьох колірних гам та доведено, що функціональні залежності спотворення якості зображень (реалістичних, штучних, монохромних, тощо) різні для червоної, зеленої і синьої складової колірної моделі. Показано, що зазначена статистика може бути базовим підґрунтям подальших досліджень для розробки сучасних ефективних методів стеганографії та стегоаналіза

Ключові слова: методи частотної фільтрації, методи просторової фільтрації, цифрове зображення, стеганографія, міра спотворення цифрового зображення

Вступ

За останні десятиріччя теорія та методи цифрової фільтрації (ЦФ) сигналів і зображень отримали новий розвиток. Сьогодні в техніці немає майже жодної області, яку в тій чи іншій мірі не торкнулась б цифрова обробка зображень (ЦЗ). Зазвичай колір кожного пікселя результуючого зображення, обумовлено інтенсивністю колірної гами сітки пікселів та їх часовими та частотними властивостями. При цьому фільтрація в більшості випадків не є кінцевим етапом обробки, а виступає деякою попередньою формою, наприклад, для подальшого ідентифікації образів, поліпшення візуального сприйняття, або вбудовування чи вилучення стеганографічних контейнерів

Метою даної статті є аналіз методів та характеристик частотної фільтрації цифрових зображень різних класів, а також встановлення функціональної залежності міри спотворення цифрового зображення в залежності класу зображення, окремо для кожної компоненти колірної моделі.

Основна частина

Неможливо уявити сучасний світ без існування і використання цифрового зображення (ЦЗ) у всіх сферах діяльності людини. В більшості випадків ЦЗ потребують обробки. Головними методами обробки (ЦЗ) є цифрові фільтри (ЦФ). Цифрові фільтри - це одна чи більше функцій, за допомогою яких здійснюється перетворення зображення. Фільтри можуть бути лінійними чи нелінійними. Процеси фільтрації полягають в трансформації складових або параметрів ЦЗ, що мають своїм результатом отримати зображення того ж розміру, що і початкове, перетворене за деякими правилами з метою підвищення якості зображення, виділення спеціальних зон, тощо.

Фільтр називається лінійним, якщо функція, що його задає задовольняє двом умовам лінійності: адитивності – умові, при якій результат застосування цієї функції до суми двох вхідних зображень $a(x, y)$ та $b(x, y)$ співпадає з сумою результатів застосування такої функції до цих зображень окремо, та однорідності – умові, що вимагає збереження однознач-

ності масштабу при перетворенні вхідно-го цифрового зображення

$$F[a(x, y) + b(x, y)] = F[a(x, y)] + F[b(x, y)]$$

$$F[c \cdot a(x, y)] = c \cdot F[a(x, y)]$$

де c – масштаб, $a(x, y)$ – вхідне цифрове зображення

Функція, що задовольняє цим двом умовам називається лінійним фільтром.

Якщо умови адитивності та однорідності не задовольняються фільтр називається нелінійним.

За допомогою цифрового фільтра на ЦЗ накладаються різноманітні ефекти, наприклад, деформація, розмитість, різкість, шум і т.п. Також ЦФ використовуються не для кінцевого етапу обробки, а для попередньої обробки для подальшої ідентифікації ЦЗ, поліпшення його візуального сприйняття, або для вбудовування чи вилучення стеганографічних контейнерів. Всі методи фільтрації можна поділити на групи: просторові, частотні та комбіновані (просторово-частотні) методи обробки ЦЗ [1].

Просторові методи об'єднують підходи, що базуються на маніпуляції з пікселями

ЦЗ. Типів просторових фільтрів досить

багато: лінійні, медіанні, ізотропні та ін. Коефіцієнтами фільтру є деякі значення, на які множать значення інтенсивності кольорів пікселей ЦЗ. Коефіцієнтами фільтру зазвичай виступають прямокутні або квадратні матриці, що називаються масками. Найчастіше в якості масок використовують матриці розміром 3×3 та 5×5 .

$$\begin{bmatrix} K(1,1) & K(1,0) & K(1,-1) \\ K(0,1) & K(0,0) & K(0,-1) \\ K(-1,1) & K(-1,0) & K(-1,-1) \end{bmatrix} \text{ або } \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 \\ K_4 & K_5 & K_6 \\ K_7 & K_8 & K_9 \end{bmatrix}$$

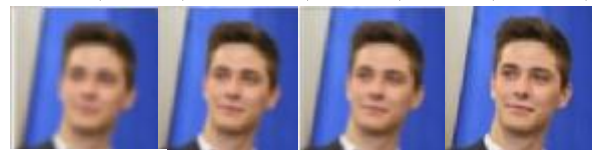
Зображення після фільтрації $C(x, y)$ отримуємо за допомогою формули згортки, де $K_{i,j}$ - коефіцієнти фільтру, $A(x, y)$ - початкове зображення:

$$C(x, y) = K_1 \cdot A(x-1, y-1) + K_2 \cdot A(x-1, y) + K_3 \cdot A(x-1, y+1) + K_4 \cdot A(x, y-1) + K_5 \cdot A(x, y) + K_6 \cdot A(x, y+1) + K_7 \cdot A(x+1, y-1) + K_8 \cdot A(x+1, y) + K_9 \cdot A(x+1, y+1)$$

На рис. 1 представлені типові маски низькочастотної та високочастотної просторової фільтрації та результати їх використання.

Низькочастотні (згладжуючі) просторові фільтри:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$



Оригінальне зображення

Високочастотні (що підкреслюють контури) просторові фільтри:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$



Оригінальне Зображення Собеля Лапласа

Рис. 1. Маски НЧ та ВЧ фільтрів і їх реалізація

Частотні методи базуються на модифікації сигналу, що формується шляхом використання до ЦЗ перетворення Фур'є. За допомогою перетворення Фур'є ЦЗ переводиться з просторової області в частотну. При цьому низькі частоти відповідають за чіткі риси ЦЗ, контури, а високі частоти – за півтони і нечіткі риси ЦЗ. Після застосування фільтру до спектру ЦЗ виконується зворотне перетворення Фур'є і на виході отримуємо відфільтроване ЦЗ. Фільтр, який ослаблює високі частоти, одночасно пропускаючи низькі називається низькочастотним фільтром. Фільтр, що ослаблює низькі частоти, одночасно пропускаючи високі – високочас-

тотний фільтр. Після використання низькочастотної фільтрації отримане вихідне ЦЗ в порівнянні з вхідним буде містити менше різких деталей (контурів), так як високі частоти подавлені. Структурна схема реалізації частотної фільтрації для ЦЗ показана на рис. 2.

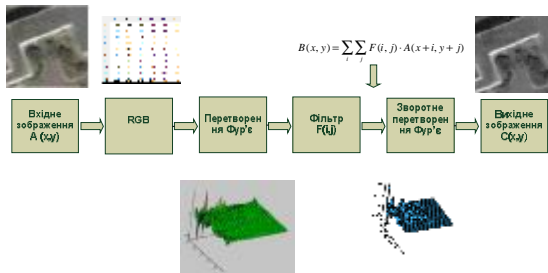


Рис. 2. Структурна схема реалізації частотної фільтрації для цифрового зображення

Більшість методів стеганографії забезпечують невисоку робастність до будь-яких спотворень. Наприклад, застосування операції ущільнення з втратами призводить до повного знищення вбудованого повідомлення у просторовій області. Більш робастними до різноманітних спотворень є методи стеганографічного захисту інформації, що використовують для приховування даних частотну область [2].

Будь-яке зображення можна інтерпретувати через сукупність організованих у матрицю пікселів. вектор кольору $A(x,y)$ для кожного пікселя зображення (x,y) , де значення кольору задає трикомпонентний вектор у колірному просторі, за допомогою кольорної моделі RGB, у якій основні кольори – червоний, зелений і синій, а будь-якій інший колір може бути представлений у вигляді зваженої суми основних кольорів.

Для реалізації частотної фільтрації ЦЗ розкладемо в RGB модель, отримане матричне представлення переводимо за допомогою прямого перетворення Фур'є в частотну область. Після переведення зображення за допомогою прямого перетворення Фур'є в частотний спектр, грубі чіткі риси зображення сконцентруються ближче до нуля – високі піки спектру, а полутона і відтінки зображення розташовані далі по поверхні.

Використовуючи цю властивість одфільтруємо високі, низькі та середні частоти зображення фільтрами різного розміру. Процес фільтрації ґрунтований на простому переміщенні маски фільтру по частотному спектру зображення.

Використаємо лінійний фільтр для частотного метода фільтрації. При цьому за допомогою зміни розміру фільтру та його переміщення по частотній області, зможемо виділити "низькі" частоти, що відповідають за основний зміст зображення – фон і великорозмірні об'єкти, або "високі" частоти, тобто виділимо неосновні риси зображення, об'єкти малого розміру, дрібні деталі великих форм.

Лінійний фільтр визначається функцією $F(i, j)$, що описується формулою 1.1

$$B(x, y) = \sum_i \sum_j F(i, j) \cdot A(x+i, y+j) \quad (1.1),$$

де $A(x, y)$ - цифрове зображення,

i, j – розмірність фільтру,

$B(x, y)$ – результат фільтрації зображення.

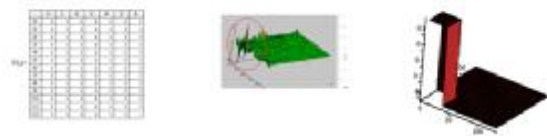


Рис. 3. Маска фільтра. Спектральне представлення зображення та низькочастотний фільтр.

Для того, щоб коректніше оцінювати вплив операції частотної фільтрації для ЦЗ, потрібно ввести поняття класу зображень. Умовно поділимо цифрові зображення на класи. Визначемо їх за ознакою розподіла інтенсивності значень пікселів та неформального визначення класів зображення за алгоритмом стиснення [3] та розширимо підкласи для деяких:

Клас 1. Зображення з невеликою кількістю кольорів (4-16) і великими областями, заповненими одним кольором. Плавні переходи кольорів відсутні. При-

клади: ділова графіка - гістограми, діаграми, графіки і т.п.

Клас 2. Зображення, з плавними переходами кольорів, побудовані на комп'ютері. Приклади: графіка презентацій, ескізні моделі в САПР, зображення, побудовані по методу Гуро.

Клас 3. Фотореалістичні зображення.

3.1. В градаціях сірого.

3.2. З контрасною зміною кольорів.

Приклад: відскановані фотографії.

Клас 4. Фотореалістичні зображення з накладенням ділової графіки. Приклад: реклама.

Характерною відмінністю ЦЗ різних класів є закони розподілення значень яскравості сусідніх пікселів. Так для 1-го класу характеризується наявністю великих областей з однаковими значеннями інтенсивності пікселів.

Для 2-го значення сусідніх пікселів можуть бути будь-які, тому що зображення створенно за допомогою комп'ютера.

Для 3-го, до якого належать відскановані реалістичні зображення (як кольорові, та в градаціях сірого) значення пікселів змінюються плавно, не може бути різкої різниці між сусідніми пікселями.

Якщо реалістичне зображення внесені зміни за допомогою програмних засобів, наприклад накладено спецефекти, тоді розподіл інтенсивностей пікселей змінюється. В середині однакових значень можемо виявити пікселі з різкою зміною значень. Такі зображення відносяться до 4-го класу.

	96	97	90	99	100	101	102	103	104	105
31	224	224	224	224	234	153	0	246	220	224
32	255	255	255	255	255	50	114	255	255	255
33	255	255	255	255	244	0	232	255	255	255
34	255	255	255	255	130	38	255	255	255	255
35	255	255	255	255	10	159	255	255	255	255
36	255	255	255	206	0	255	255	255	255	255
37	255	255	255	81	82	255	255	255	255	255
38	255	255	255	0	201	255	255	255	255	255
39	255	255	164	14	255	255	255	255	255	255
40	255	255	45	126	255	255	255	255	255	255
41	255	255	0	235	255	255	255	255	255	255
42	255	121	49	255	255	255	255	255	255	255
43	255	4	171	255	255	255	255	255	255	255
44	191	0	255	255	255	255	255	255	255	255
45	75	75	255	255	255	255	255	255	255	255
46	0	213	255	255	255	255	255	255	255	...

клас 1

	75	77	78	70	80	81	82	83	84	85
40	31	113	120	137	154	162	171	153	157	164
41	82	98	117	132	138	151	157	158	161	170
42	75	84	99	122	134	143	142	156	132	165
43	74	82	102	117	130	137	154	156	141	153
44	73	84	101	109	121	155	165	175	190	162
45	63	76	90	109	122	135	151	164	180	203
46	62	70	89	94	111	130	145	167	180	200
47	60	72	80	94	115	118	135	169	177	193
48	60	71	83	99	110	112	125	157	172	195
49	50	69	87	97	112	118	123	140	164	181
50	50	69	75	92	106	118	127	136	156	169
51	58	66	72	90	97	108	123	134	150	161
52	59	59	70	87	96	105	115	125	149	159
53	56	58	67	85	97	105	112	123	141	157
54	53	62	69	86	95	104	111	120	143	148
55	52	61	67	88	93	99	117	126	145	148

клас 2

	58	59	60	61	62	63	64
28	109	108	103	100	96	95	98
29	107	105	102	101	100	101	103
30	103	101	102	103	105	107	109
31	101	100	101	104	107	110	111
32	101	100	101	103	106	109	109
33	102	101	101	103	105	106	107
34	102	102	102	103	105	105	106
35	102	102	102	104	106	106	106
36	104	104	106	103	100	100	103
37	101	100	101	101	102	104	105
38	98	97	100	102	103	103	100
39	98	96	95	97	100	103	...

клас 3

	45	46	47	48	49	50	51
28	123	168	171	110	210	230	241
29	146	162	188	139	208	227	242
30	189	200	211	161	218	191	220
31	233	41	248	130	204	190	217
32	230	164	200	16	16	97	79
33	226	236	11	0	0	0	0
34	243	88	0	0	0	0	0
35	69	0	0	0	0	1	0
36	0	0	0	0	0	0	1
37	0	0	0	0	1	0	2
38	0	0	0	0	0	0	0
39	0	1	1	0	1	0	...

клас 4

Рис. 4. Матриці інтенсивностей пікселів для зображень різних класів

Частотну фільтрацію реалізуємо для зображень всіх визначених вище класів ЦЗ, кожної кольорової компоненти окремо, для встановлення функціональної залежності міри спотворення цифрового зображення в залежності від зміни класу цифрового зображення, окремо для кожної компоненти колірної моделі. Всі зображення представлено в форматі bmp, який має роздільну здатність 128×128.

Розмір вікна фільтра визначимо як 64×64 для всіх класів зображення.

Частотна фільтрація зображення здійснює згладжування за допомогою низькочастотної фільтрації, так і виділення контурів та об'єкти малого розміру за допомогою високочастотної фільтрації. Результати частотної фільтрації для різних класів ЦЗ представлені на рис. 5.

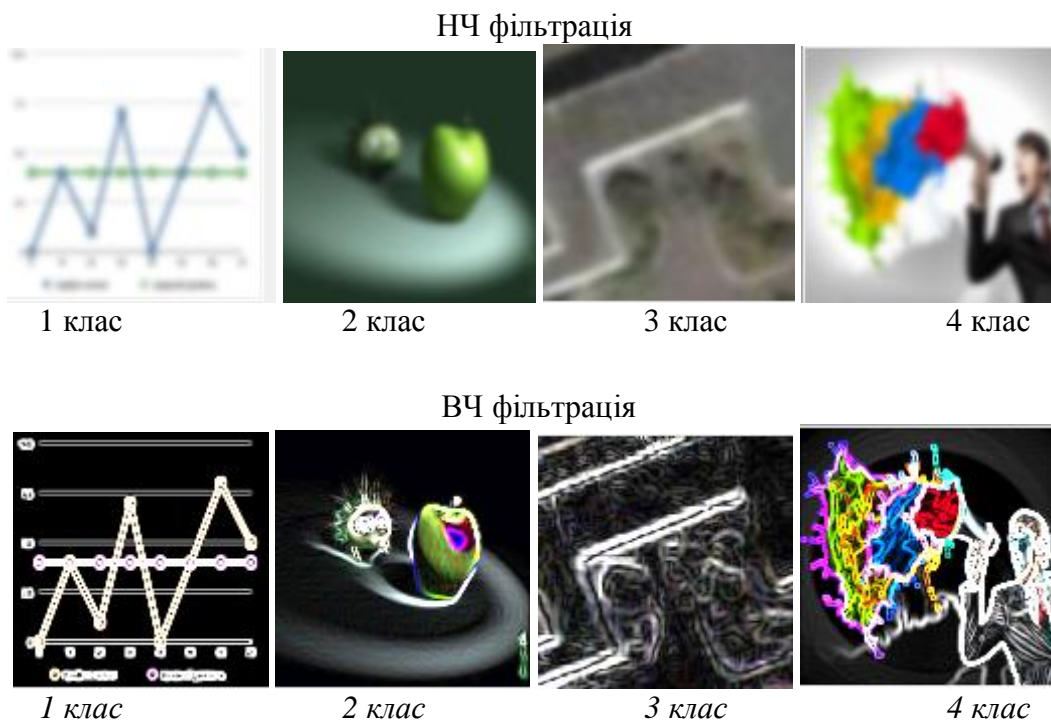


Рис. 5. НЧ фільтрація та ВЧ фільтрація для цифрових зображень різних класів

Візуальний аналіз отриманих результатів наступний. При достатньому розміру вікна низькочастотного фільтра адитивні завади подавляються, однак контури зображення сильно розмиті. Високочастотна складова зображення перестає бути інформативною, так як там тепер повністю присутня і шумова компонента.

Якщо оцінювати якість фільтрації з об'єктивної точки зору, треба скористатися існуючими характеристиками оцінки міри спотворення цифрового зображення. Більшість показників спотворення або критеріїв якості, що використовуються при

візуальній обробці інформації базуються на відмінності між початковим цифровим зображенням і зображенням, отриманим після спотворення. Для аналізу спотворення зображення після фільтрації скористаємося найбільш поширену міру PSNR (англ. Peak signal-to-noise ratio) - пікове відношення сигналу до шуму. PSNR найбільш часто використовується для вимірювання рівня спотворень при стисненні зображень. В нашому випадку використаємо цей підхід для фільтрації зображення.

PSNR обчислюється за формулою 1.5.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (1.5),$$

де MAX_i – максимальне значення пікселя зображення, в нашому випадку при розрядності 8 біт $MAX_i = 255$,

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (1.6)$$

Результати дослідження наведено в табл. 1 та рис. 5.

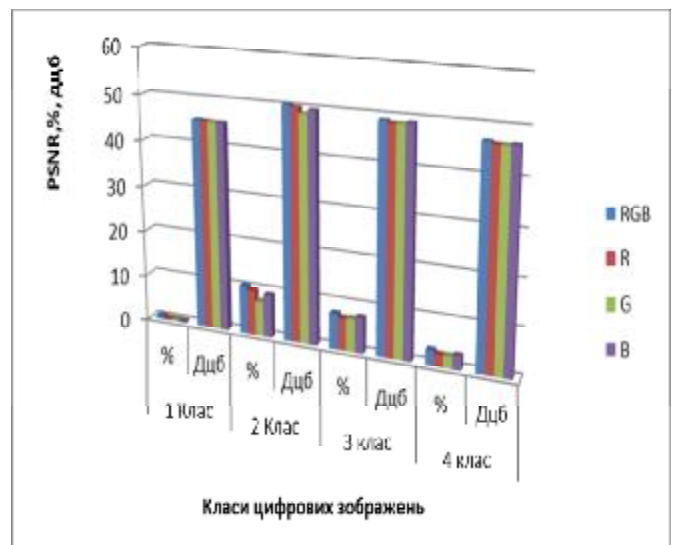
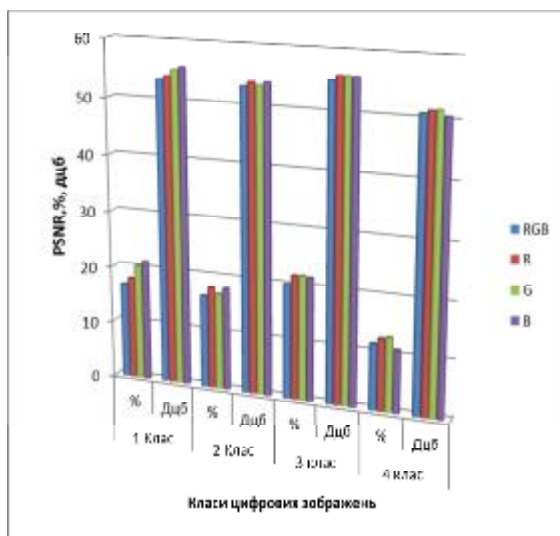
MSE – середньквадратична помилка для зображення I і K розміром $m \times n$, визначається за формулою

Таблиця 1. PSNR, отримані після використання ВЧ фільтрації

PSNR _T								
	1 Клас		2 Клас		3 клас		4 клас	
	%	Дцб	%	Дцб	%	Дцб	%	Дцб
RGB	16,771	53,489	16,321	53,264	20,099	55,153	11,566	50,887
R	17,97	54,088	17,90	54,053	21,755	55,981	12,568	51,388
G	20,281	55,21	16,966	53,552	21,883	56,011	12,934	51,537
B	21,205	55,706	18,064	54,135	21,666	55,937	10,995	50,601

Таблиця 2. PSNR, отримані після використання НЧ фільтрації

PSNR								
	1 Клас		2 Клас		3 клас		4 клас	
	%	Дцб	%	Дцб	%	Дцб	%	Дцб
RGB	0,598	45,402	10,519	50,363	7,78	48,993	3,324	46,765
R	0,366	45,287	9,741	49,974	7,063	48,635	2,649	46,428
G	0,376	45,257	7,571	48,855	7,261	48,7	2,696	46,417
B	0,287	45,247	9,285	49,746	7,798	49,003	3,08	46,643



а) б)
Рис. 5. Діаграми значень PSNR а) - ВЧ фільтрації, б) – НЧ фільтрації

Як видно з отриманих даних, значення характеристики PSNR різні для різних кольорних складових зображення.

В результаті використання ВЧ фільтра найменше спотворення виявлено в червоній складовій для першого класу, в зеленій для другого класу, та в синій – для третього та четвертого класів.

В результаті використання НЧ фільтра найменше спотворення виявлено в червоній складовій для третього та четвертого класів, в зеленій для 2-го класу, та в синій – для 1-го класу.

Реалістичних зображень, отримані за допомогою цифрового фотоапарату, тобто 3 клас, представляють більший інтерес з точки зору використання в якості ефективних контейнерів в стеганографії. Завдяки рівномірному розподілу інтенсивності пікселів та підвищенні рівню шуму при скануванні, виявлення прихованого вмісту представляє набагато вищу складність. При цьому, ще вищу таємність дозволяє забезпечити використання зображень третього класу у градаціях сірого.

Висновок

В роботі досліджено різні методи фільтрації та класи цифрових зображень. Реалізовано метод частотної фільтрації для цифрових зображень та досліджено міру спотворення PSNR цифрового зображення в залежності від класу зображення, окремо для кожної компоненти кольорної моделі RGB.

Отримано алгоритми видалення сегментів спектру трьох кольорних гам та доведено, що функціональні залежності спотворення якості зображень (реалістичних, штучних, монохромних, тощо) різні для червоної, зеленої і синьої складової кольорної моделі. Показано, що зазначена статистика може бути базовим підґрунтям подальших досліджень для розробки сучасних ефективних методів стеганографії та стегоаналіза з умови вбудування контейнерів в різні кольорні компоненти.

Список літератури

1. Гонсалес .Цифровая обработка изображений. Р. Гонсалес, Р.Вудс. – Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Лукічов В. В. Методи та засоби стеганографічного захисту інформації в комп'ютерних системах і мережах на основі вейвлетперетворень : дис. – К. : студія канд. техн. наук: спец. 05.13. 21/Лукічов Віталій Володимирович, 2010.
3. Д.С.Ватолин. Алгоритмы сжатия изображений. Методическое пособие. – Москва: МГУ, 1999. – 76 с.

Статтю подано до редакції 02.09.2017