

## АНАЛІЗ РІВНЯ СПОТВОРЕНЬ ВЕКТОРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВНАСЛІДОК ВБУДОВУВАННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

### Вступ

На сьогодні в комп'ютерних системах векторні зображення широко використовуються для проектування архітектурних об'єктів, інтер'єрів, розробки приладів, реклами, логотипів, створення шрифтів, географічних карт тощо, на створення яких витрачається багато часу та коштів. В зв'язку з цим виникає проблема їх захисту. При цьому найбільш перспективним є забезпечення захисту, коли не потрібно оригіналу для підтвердження авторства.

Методи вбудовування цифрових водяних знаків (ЦВЗ) у зображення, що забезпечують такий захист, у більшості базуються на частотних перетвореннях. До них відносяться методи Базіна-Барса-Маделана, Хе-Жу-Ванга, Солачідіса-Ніколаїдіса-Пігаса [2], а також метод Войта-Янга-Буша [3], який базується на зміні значень високочастотних (ВЧ) коефіцієнтів одновимірного дискретного косинусного перетворення (ДКП) векторного зображення і забезпечує зменшення впливу ЦВЗ при його вбудовуванні на якість зображення. Однак сумарна похибка відхилення координат точок відносно оригіналу в деяких випадках є досить суттєвою.

В роботі [4] запропоновано метод, який забезпечує зменшення сумарної похибки відхилення координат точок від оригіналу [5]. Для цього в методі використовується двовимірне ДКП і зміна коефіцієнтів ДКП проводиться таким чином, щоб його вплив на якість зображення був мінімальним при забезпеченні чіткого розпізнавання бітів ЦВЗ. Однак, в деяких випадках максимальне відхилення точок досягає великих значень, яке може призвести до помітних спотворень окремих точок, що може бути неприпустимим для деяких зображень та додатків, що їх використовують.

У роботі [6] представлено метод, в якому для усунення проблеми виникнення значних відхилень точок під час вбудовування біти ЦВЗ вбудовуються лише у ті матриці коефіцієнтів ДКП, зміна яких не призводить до таких відхилень. Для визначення придатних для вбудовування матриць запропоновано умови відбору з використанням граничного значення величини зміни коефіцієнтів внаслідок вбудовування ЦВЗ.

Однак, актуальним залишається питання аналізу запропонованого методу щодо рівня відхилень координат точок зображення.

### Аналіз рівня відхилень координат точок запропонованого методу у порівнянні з відомими

Для кращого уявлення переваг запропонованого методу [6] проведемо його порівняльний аналіз з методом Войта-Янга-Буша [3] та основним методом [4].

У роботі [5] було проведено порівняльний аналіз методу Войта-Янга-Буша та основного методу. Оскільки запропонований метод є вдосконаленням основного методу, для кращого сприйняття отриманих результатів будемо оцінювати їх з такими ж умовами. Для цього виконаємо вбудовування декількох різних ЦВЗ у декілька векторних географічних карт цими трьома методами.

Для аналізу оберемо три географічні карти, що відрізняються рівнем деталізації, розміром та типом зображуваних даних. Фрагменти трьох карт для порівняльного аналізу показано на рисунку 1.

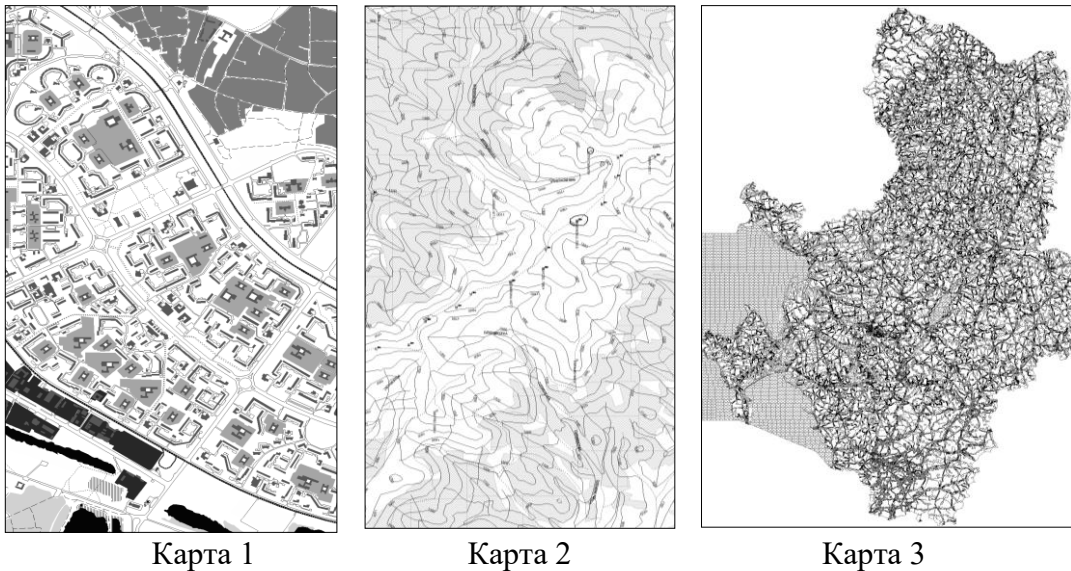


Рис. 1. Фрагменти трьох векторних географічних карт для вбудовування ЦВЗ

Для дослідження також було вибрано 3 різних ЦВЗ: два в текстовому форматі розміром 384 та 1952 біти і графічний – зображення розміром 8512 біти.

Для основного та запропонованого методу визначимо позиції коефіцієнтів  $F_i(u_1, v_1)$ ,  $F_i(u_2, v_2)$  та  $F_i(u_3, v_3)$  для вбудовування ЦВЗ відповідно  $F_i(7,7)$ ,  $F_i(7,5)$  та  $F_i(7,8)$ , а також величину  $P=0,00003$ . Для запропонованого методу визначимо граничне значення  $P_h=0,0005$ .

Для методу Войта-Янга-Буша в кожному масиві з 8 коефіцієнтів ДКП значення максимального коефіцієнта  $A_{\max}$  будемо визначати серед інших трьох коефіцієнтів з діапазону  $A_4..A_6$ . Згідно з дослідженням авторів методу [3] вибір коефіцієнта з такого діапазону забезпечує найменший вплив вбудовування ЦВЗ на якість зображення.

Вбудовування ЦВЗ проведемо згідно трьох методів з однаковими векторними зображеннями та ЦВЗ. Після вбудовування ЦВЗ у векторні карти отримано декілька карт з вбудованим ЦВЗ та різними рівнями спотворення.

Розглянемо результати вбудовування ЦВЗ у карту 1 на прикладі збільшеного у масштабі фрагменту цієї карти представленої водночас до та після вбудовування. Суміщені фрагменти для кожного з трьох методів показано на рисунку 2.

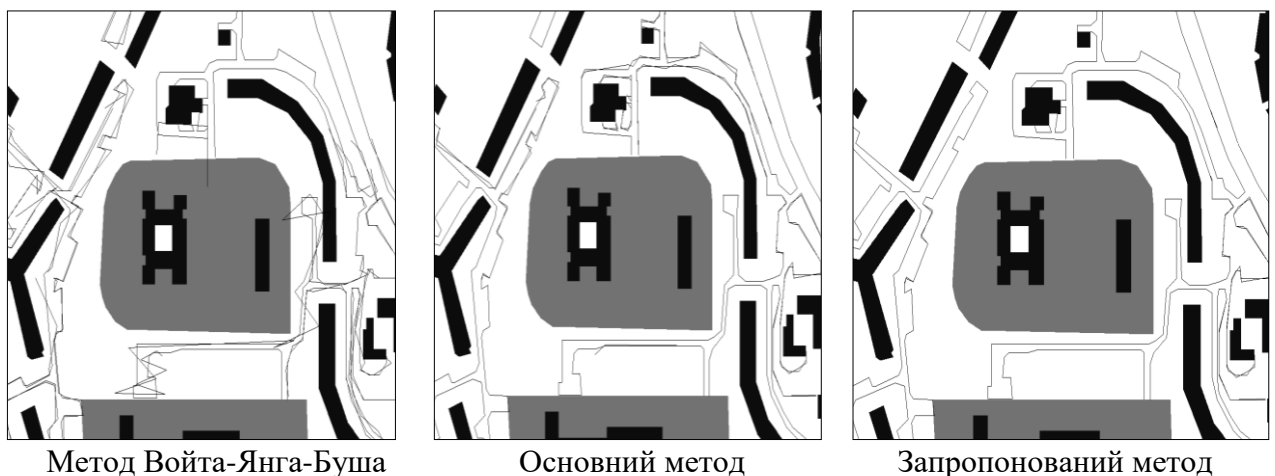


Рис. 2. Фрагменти векторних карт після вбудовування ЦВЗ суміщених з оригіналом за трьома методами

З рис. 2 видно, що згідно з запропонованим методом фрагмент зображення змінився найменше, оскільки вбудовування бітів ЦВЗ проводилося не в усі частини фрагменту зображення, оскільки певні матриці коефіцієнтів ДКП виявилися непридатними для вбудовування для встановленого значення  $P_h=0,0005$ . В той же час, відповідні сегменти зображення суттєво спотворилися в результаті вбудовування двома іншими методами.

Для того, щоб краще оцінити переваги запропонованого методу визначимо сумарну похибку, середнє та максимальне відхилення точок векторної карти порівняно з оригіналом для трьох методів, що аналізуються. Оскільки вбудовування проводиться в реальні географічні карти, показники будемо визначати в метричній системі для оцінювання спотворень в реальному масштабі.

Результати показників рівня спотворення векторних карт внаслідок вбудовування ЦВЗ методами, що порівнюються, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати спотворення векторних карт після вбудовування ЦВЗ за трьома методами

Показники	Метод Войта-Янга-Буша $A_4..A_6$		Основний метод $P = 0,00003$		Запропонований метод $P = 0,00003$ $P_h = 0,0005$	
	Y	X	Y	X	Y	X
<b>Карта: 1, К-сть точок карти: 272848, К-сть бітів ЦВЗ: 384, Розмір карти: 41,37 на 40,92 км</b>						
Сумарна похибка, км	681,14	484,36	262,97	170,84	14,06	9,19
Середнє відхилення точок, м	221,72	157,67	10,70	6,95	0,572	0,374
Максимальне відхилення точок, м	26173	11889	6438	3318	247	155
<b>Карта: 1, К-сть точок карти: 272848, К-сть бітів ЦВЗ: 8512, Розмір карти: 41,37 на 40,92 км</b>						
Сумарна похибка, км	8049,76	8811,00	1508,23	1233,79	1140,75	902,36
Середнє відхилення точок, м	118,21	129,39	2,77	2,26	2,09	1,66
Максимальне відхилення точок, м	73136	37879	11609	6497	5212	4883
<b>Карта: 2, К-сть точок карти: 14966, К-сть бітів ЦВЗ: 384, Розмір карти: 17,06 на 15,67 км</b>						
Сумарна похибка, км	220,59	270,43	217,02	83,81	122,98	73,85
Середнє відхилення точок, м	106,98	93,44	8,83	3,41	5,004	3,005
Максимальне відхилення точок, м	11964	4104	6145	1645	2790	1545
<b>Карта: 3, К-сть точок карти: 74157, К-сть бітів ЦВЗ: 384, Розмір карти: 6,49 на 10,32 км</b>						
Сумарна похибка, км	220,59	270,43	65,76	41,03	4,3	2,71
Середнє відхилення точок, м	71,81	88,03	2,68	1,67	0,17	0,11
Максимальне відхилення точок, м	6378	4382	1902	1202	83	49
<b>Карта: 3, К-сть точок карти: 74157, К-сть бітів ЦВЗ: 1952, Розмір карти: 6,49 на 10,32 км</b>						
Сумарна похибка, км	901,47	1167,00	254,07	145,51	212,97	134,3
Середнє відхилення точок, м	57,73	74,73	2,03	1,16	1,705	1,075
Максимальне відхилення точок, м	11413	9401	3357	1767	1682	1104

З результатів таблиці 1 видно, що запропонований метод порівняно з іншими методами забезпечує менше спотворення зображення внаслідок вбудовування ЦВЗ за усіма показниками. Сумарна похибка та середнє відхилення точок для запропонованого методу в розглянутих прикладах менші від інших методів до 15 разів, а максимальне відхилення точок менше у десятки разів.

Таким чином, можна стверджувати, що запропонований метод забезпечує зменшення впливу ЦВЗ на якість векторних зображень.

Тепер проведемо аналіз запропонованого методу з точки зору спотворень, які виникають внаслідок вбудовування ЦВЗ за відомими показниками візуального спотворення, які широко використовують для оцінювання якості графічних зображень після вбудовування інформації [7].

Більшість показників спотворення або критеріїв якості, які використовуються при візуальній обробці, відносять до групи показників відмінності. Ці показники базуються на відмінності між зображенням-оригіналом і зображенням з вбудованим ЦВЗ. До іншої групи відносяться показники, що базуються на кореляції між оригіналом та змінним зображенням.

Для оцінювання розглянемо випадок з такими вхідними даними. Карта: 3, кількість точок карти: 74157, к-сть бітів ЦВЗ: 768, розмір карти: 6,49 на 10,32 км. Всі інші параметри для кожного з методів візьмемо аналогічні попередньому аналізу.

В таблиці 2 наведено результати оцінювання за показниками відмінності та кореляційними показниками трьох методів, що аналізуються.

Таблиця 2. Показники візуального спотворення зображення після вбудовування ЦВЗ

Показники	Оригінальне зображення		Метод Войта-Янга-Буша $A_4 \dots A_6$		Основний метод $P = 0,00003$		Запропонований метод $P = 0,00003$ $P_n = 0,0005$	
	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
<b>Показники відмінності</b>								
Максимальна відмінність, $MD$	0	0	0.078	0.11	0.016	0.019	$2.316 \times 10^{-3}$	$2.657 \times 10^{-3}$
Середня абсолютна відмінність, $AD$	0	0	$2.044 \times 10^{-5}$	$3.148 \times 10^{-5}$	$1.272 \times 10^{-5}$	$1.292 \times 10^{-5}$	$2.47 \times 10^{-6}$	$2.812 \times 10^{-6}$
Нормована середня абсолютна відмінність, $NAD$	0	0	$4.047 \times 10^{-7}$	$1.029 \times 10^{-6}$	$2.519 \times 10^{-7}$	$4.223 \times 10^{-7}$	$4.889 \times 10^{-8}$	$9.193 \times 10^{-8}$
Середньоквадратична помилка, $MSE$	0	0	$8.293 \times 10^{-8}$	$1.624 \times 10^{-7}$	$3.553 \times 10^{-9}$	$5.092 \times 10^{-9}$	$7.23 \times 10^{-11}$	$9.519 \times 10^{-11}$
Нормована середньоквадратична помилка, $NMSE$	0	0	$3.25 \times 10^{-11}$	$1.735 \times 10^{-10}$	$1.392 \times 10^{-12}$	$5.441 \times 10^{-12}$	$2.833 \times 10^{-14}$	$1.017 \times 10^{-13}$
$L^p$ - норма, $p = 2$	0	0	$2.88 \times 10^{-4}$	$4.029 \times 10^{-4}$	$5.961 \times 10^{-5}$	$7.136 \times 10^{-5}$	$8.503 \times 10^{-6}$	$9.756 \times 10^{-6}$
Відношення "сигнал-шум", $SNR$	$\infty$	$\infty$	$3.077 \times 10^{10}$	$5.764 \times 10^9$	$7.183 \times 10^{11}$	$1.838 \times 10^{11}$	$3.53 \times 10^{13}$	$9.832 \times 10^{12}$
Максимальне відношення "сигнал-шум", $PSNR$	$\infty$	$\infty$	$3.081 \times 10^{10}$	$5.795 \times 10^9$	$7.192 \times 10^{11}$	$1.848 \times 10^{11}$	$3.534 \times 10^{13}$	$9.885 \times 10^{12}$
Якість зображення, $IF$	1	1	0.99999999 99675032	0.99999999 9826503	0.99999999 99986078	0.99999999 9994559	0.99999999 99999717	0.99999999 9999898
<b>Кореляційні показники</b>								
Нормована взаємна кореляція, $NC$	1	1	0.99999999 99941283	0.99999999 99672231	0.99999999 99990318	0.99999999 99965551	0.99999999 99999879	0.99999999 99998924
Якість кореляції, $QC$	50.517177 62456371	30.5915738 1060648	50.5171776 2426717	30.5915738 0960376	50.5171776 2451479	30.5915738 1050109	50.5171776 2456310	30.5915738 1060319
<b>Інші показники</b>								
Структурний вміст, $SC$	1	1	0.99999999 99792457	0.99999999 98920561	1.00000000 00005433	1.00000000 00014493	1.00000000 00000095	1.00000000 00000988

Загальне сигма-відношення «сигнал-шум», <i>GSSNR</i>	$\infty$	$\infty$	$7.495 \times 10^7$	$5.441 \times 10^8$	$1.114 \times 10^{11}$	$3.012 \times 10^{12}$	$3.487 \times 10^{14}$	$6.678 \times 10^{14}$
Сигма відношення «сигнал-шум», <i>SSNR</i>	$\infty$	$\infty$	$1.062 \times 10^{-3}$	$1.178 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-3}$	$1.683 \times 10^{-3}$	$1.961 \times 10^{-3}$	$1.999 \times 10^{-3}$

З таблиці 2 видно, що запропонованому методу відповідають найкращі показники відмінності порівняно з іншими методами. Оскільки вони відображають рівень спотворення зображення внаслідок вбудовування ЦВЗ, то можна сказати, що запропонований метод забезпечує збереження найвищого рівня якості зображення серед розглянутих методів. Так показники максимальної, середньої абсолютної та нормованої середньої абсолютної відмінності найближчі до 0 і у 5-10 разів менші порівняно з двома іншими методами. Також показник відношення «сигнал-шум» вищий у запропонованого методу більше ніж у 10 разів.

Кореляційні показники зображення з вбудованим ЦВЗ згідно з запропонованим методом теж найближчі до показників оригіналу, що свідчить про найменше порушення кореляції між координатами точок зміненого зображення серед розглянутих методів. Так показник нормованої кореляції найбільш наближений до 1, при цьому різниця між ними є меншою ніж у інших двох методів більше ніж у 30 разів. Такі результати підтверджують забезпечення запропонованим методом достатнього рівня стійкості до зловмисних атак, спрямованих на зчитування, видалення чи підміну ЦВЗ, оскільки ці атаки передбачають проведення аналізу для визначення місця розташування ЦВЗ і для цього використовують статистичні методи оцінювання, зокрема показники кореляції та ентропії.

Аналіз отриманих результатів показує, що запропонований метод забезпечує найменший негативний вплив ЦВЗ на координати точок векторного зображення у порівнянні з існуючими методами, що вбудовують ЦВЗ в частотну область зображення.

### Висновки

В роботі було проведено аналіз якості запропонованого стеганографічного методу з точки зору його впливу відхилення координат точок векторного зображення. Для цього було проаналізовано візуальний рівень спотворення зображення та визначено ряд показників спотворення зображення в порівнянні з відомими методами.

Показники відмінності між зображенням з вбудованим ЦВЗ та оригіналом підтвердили забезпечення найменшого впливу запропонованого методу на відхилення точок зображення порівняно з аналогами.

Кореляційні показники запропонованого методу відобразили найменше порушення кореляції між точками зображення внаслідок вбудовування ЦВЗ, що також показує підвищення стійкості запропонованого методу до зловмисних атак.

Крім того, результати аналізу показали, що запропонований метод в окремих випадках забезпечує зменшення максимального відхилення значень координат точок векторних зображень внаслідок вбудовування ЦВЗ у десятки разів та їх рівномірне відхилення відносно точок оригіналу векторного зображення.

### Список літератури

1. В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.Є. Шелест, Ю.Є. Яремчук. Основи комп'ютерної стеганографії. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ. – 2003. – 143 с.
2. Liangbin Zheng, Yulu Jia, Qun Wang. Research on Vector Map Digital Watermarking Technology // First International Workshop on Education Technology and Computer Science – 2009. – P. 303-307.
3. M. Voigt, B. Yang and C. Busch. Reversible watermarking of 2D vector data // ACM Multimedia and Security Workshop. – 2004. – P. 160-165.
4. Карпінець В.В., Яремчук Ю.Є. Вирішення проблеми погіршення якості векторних зображень при вбудовуванні цифрових водяних знаків // Правове, нормативне, та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні – 2010. – № 1(20). – С.73-83.
5. Карпінець В. В., Яремчук Ю. Є. Аналіз впливу цифрових водяних знаків на якість векторних зображень // Сучасний захист інформації. – 2011. – №1. – С.72-82.

6. *Карпинець В. В., Яремчук Ю. С.* Зменшення відхилень координат точок внаслідок вбудовування цифрових водяних знаків у векторні зображення // Правове, нормативне, та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні – 2010. – № 2(21). – С.101-109.

7. *Яремчук Ю. С., Карпинець В. В.* Аналіз стійкості стеганографічного перетворення до вбудовування цифрових водяних знаків у зображення // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія.- 2007. - №1(8).- С. 212-217.