УДК 004.056.5

Informatics and Mathematical Methods in Simulation
Vol. 6 (2016), No. 1, pp. 52-60

СТЕГАНОАНАЛІТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ЗАСНОВАНИЙ НА АНАЛІЗІ ПРОСТОРОВОЇ ОБЛАСТІ ЦИФРОВИХ КОНТЕЙНЕРІВ

Д.А. Маєвський, Г.В. Ахмаметьєва

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: anna-odessitka@mail.ru

В роботі запропонований стеганоаналітичний алгоритм, заснований на врахуванні відмінностей характеру змін кількості блоків з однаковими значеннями яскравості колірних матриць послідовності зображень/кадрів відео послідовності в результаті первинної та повторної вбудови додаткової інформації. Запропонований стеганоаналітичний алгоритм здійснює аналіз просторової області цифрових контентів (як у форматах з втратами, так і у форматах без втрат) та направлений на виявлення наявності вбудови додаткової інформації методом модифікації найменшого значущого біта з незначною пропускною спроможністю прихованого каналу зв'язку (не більше 0.5 біт/піксель). Наведені результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: стеганоаналітичний метод, метод модифікації найменшого значущого біта, просторова область контейнера, цифрове зображення, цифрова відеопослідовність, формат зберігання з втратами, формат зберігання без втрат

Вступ

Бурхливий розвиток інформаційних і комунікативних технологій сприяє їх широкому розповсюдженню як у державних та суспільних сферах, так і у повсякденному житті кожної людини, коли непомітними стають великі відстані і будь-яку інформацію можна передати за декілька хвилин, можна спілкуватися з людьми, які знаходяться у різних країнах. Але такий розвиток має й зворотну сторону – багато злочинів, у тому числі терористичні акти, організовані за допомогою таємної комунікації, такої як стеганографія. Використання стеганографічних систем дозволяє передати конфіденційну інформацію по відкритому каналу зв'язку, приховуючи сам факт її присутності у контейнері [1, 2], в ролі якого можуть виступати цифрові зображення (ЦЗ), відео послідовності (ЦВ). Результат вбудови додаткової інформації (ДІ) у контейнер далі будемо називати стеганоповідомленням (СП).

З метою запобігання злочинних дій з використанням стеганографії актуальним є розвиток стеганоаналізу, основною задачею якого є виявлення факту наявності/відсутності прихованої інформації у будь-якому контейнері [2, 3].

Найбільш розповсюдженим стеганографічним методом є метод модифікації найменшого значущого біта (LSB) [2] завдяки простоті реалізації, можливості забезпечення високої пропускної спроможності прихованого каналу зв'язку (ППС), використанню як у просторовій області, так і в області перетворень цифрового контейнера. Але сьогодні найчастіше метод LSB використовують саме з малою ППС (не більше 0.5 біт/піксель), що значно ускладнює виявлення факту наявності прихованої інформації.

Більшість сучасних стеганоаналітичних методів та алгоритмів [1, 4-7] виконують аналіз цифрових контентів в області перетворень (частотній області, областях

сингулярного / спектрального розкладання відповідних матриць, тощо), що сприяє накопиченню обчислювальної похибки, особливо цей недолік впливає на ефективність стеганоаналізу при малої ППС стеганографічного каналу зв'язку. Стеганоаналітичні методи, що аналізують просторову область контейнерів [8], дозволяють уникнути як додаткового накопичення похибок обчислень, так і додаткових часових витрат при переході в область перетворень.

Таким чином, підвищення ефективності стегоаналізу за рахунок забезпечення можливості його проведення в просторовій області при вбудові ДІ методом LSB з незначною ППС в цифрові контейнери (ЦЗ, ЦВ) є актуальною задачею для сучасної стеганографії.

Мета та постановка задач

Метою роботи є покращення ефективності стеганоаналізу при виявленні наявності/відсутності ДІ, вбудованої методом LSB з незначною ППС (не більше 0.5 біт/піксель) у послідовність ЦЗ/кадрів відеопослідовності шляхом розробки універсального стеганоаналітичного алгоритму, заснованого на аналізі характеру змін кількості блоків з однаковими значеннями яскравості в колірних компонентах цифрових контентів після повторної вбудови ДІ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Установити в просторовій області характерні зміни кількості блоків з однаковими значеннями яскравості пікселів блоків матриці оригінального ЦЗ у порівнянні з СП, а також СП у порівнянні з СП, отриманим у результаті повторної вбудови ДІ в СП методом LSB;
2. Визначити порогове значення відсотку колірних складових зі зменшеною кількістю блоків з однаковими значеннями яскравості у послідовності ЦЗ/ЦВ, сформованих первинною вбудовою ДІ, у порівнянні з цифровим контентом, отриманим повторним впровадженням ДІ у СП;
3. Розробити основні кроки стеганоаналітичного алгоритму детектування наявності/відсутності ДІ, вбудованої методом LSB з незначною ППС (не більше 0.5 біт/піксель), у цифрових контентах;
4. Оцінити ефективність розробленого стеганоалгоритму шляхом визначення помилок 1-го та 2-го роду на основі детектування набору відеопослідовностей.

Основна частина

В роботах [9, 10] були сформульовані стеганоаналітичні методи для форматів без втрат та форматів з втратами, направлені на детектування наявності/відсутності ДІ, вбудованої в контейнер методом LSB з малою ППС (не більше 0.5 біт/піксель), шляхом порівняння відносної зміни кількості блоків в контенті, що аналізується, у порівнянні з СП, отриманим повторним впровадженням ДІ у цей контент.

У поточній роботі проводиться дослідження характеру зміни кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості у послідовності ЦЗ/відеопослідовності в результаті первинного та повторного впровадження ДІ. В обчислювальному експерименті використовується база зображень, яка містить 1000 кольорових ЦЗ (схема RGB):

група 1: 200 ЦЗ із бази NRCS Photo Gallery [11] у форматі TIFF;

група 2: 200 зображень, отриманих непрофесіональними фотокамерами в форматі TIFF;

група 3: 200 ЦЗ із бази NRCS Photo Gallery [11] в форматі JPG;

група 4: 200 високоякісних ЦЗ із [12], в форматі JPG;

група 5: 200 зображень, отриманих непрофесіональними фотокамерами в форматі JPG.

На першому етапі обчислювального експерименту проводилась оцінка характеру зміни (зменшення, збільшення чи незмінність) кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості в колірних складових оригінальних ЦЗ та СП, отриманих первинним впровадженням ДІ у контейнер методом LSB. Кожна колірна компонента контейнера досліджувалась окремо, однак характер змін для будь-яких колірних складових аналогічний, тому в подальшому будемо мати на увазі, що результати обчислювального експерименту застосовні як для червоної, так і для зеленої та синьої колірних матриць. Результати першого етапу експерименту представлені у табл.1. Тут характер змін визначається за формулами

$$p_{зменш} = \frac{k_{зменш}}{N}\cdot 100\%,\ p_{збільш} = \frac{k_{збільш}}{N}\cdot 100\%,\ p_{незмін} = \frac{k_{незмін}}{N}\cdot 100\%, \qquad (1)$$

де $p_{зменш}, p_{збільш}, p_{незмін}$ – відсоток матриць, у яких кількість 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості при впровадженні ДІ зменшується, збільшується та залишається незмінною відповідно;

$k_{зменш}, k_{збільш}, k_{незмін}$ – кількість матриць у послідовності ЦВ/кадрах ЦВ, у яких кількість 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості при впровадженні ДІ зменшується, збільшується та залишається незмінною відповідно;

N – загальна кількість матриць у послідовності, що аналізується.

Таблиця 1.

Характер зміни кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості при первинному впровадженні ДИ по всьому набору зображень, %

ППС при первинному впровадженні ДІ	Характер зміни	Група 1 (TIFF)	Група 2 (TIFF)	Група 3 (JPG)	Група 4 (JPG)	Група 5 (JPG)
0.5	Зменшення	34.9301	40.3134	92.2824	82.2554	91.6279
	Збільшення	40.9182	47.1510	4.9261	12.2720	7.9070
	Незмінність	24.1517	12.5356	2.7915	5.4726	0.4651
0.25	Зменшення	39.7206	43.4473	92.7750	86.2355	93.9535
	Збільшення	33.9321	40.5983	4.5977	8.4577	5.4264
	Незмінність	26.3473	15.9544	2.6273	5.3068	0.6201
0.1	Зменшення	43.7126	46.0114	92.7750	88.8889	96.2791
	Збільшення	27.3453	34.4729	3.4483	4.8093	2.6356
	Незмінність	28.9421	19.5157	3.7767	6.3018	1.0853

Як видно з табл. 1 при первинному впровадженні ДІ у контейнери в форматах без втрат (групи 1 і 2) незалежно від ППС у середньому в 40% матриць спостерігається зменшення кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості. У зображеннях в форматах з втратами (групи 3, 4, 5) доля матриць зі зменшеною кількістю 4×4-блоків досягає 80% та вище.

На другому етапі обчислювального експерименту проводилась оцінка характеру змін кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості у колірних складових СП, отриманих первинним впровадженням ДІ у контейнер методом LSB, та СП, отриманих в результаті повторної вбудови ДІ у дане СП. Результати експерименту представлені у табл.2. Характер змін визначається за формулами (1).

Таблиця 2.

Характер зміни кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості при повторному впровадженні ДІ по всьому набору зображень, %

ППС при первинній вбудові ДІ	ППС при повторній вбудові ДІ	Характер зміни	Гр. 1 (TIFF)	Гр. 2 (TIFF)	Гр. 3 (JPG)	Гр. 4 (JPG)	Гр. 5 (JPG)
0.5	0.5	Зменшення	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
		Збільшення	55.8882	72.0798	71.5928	73.6318	81.7054
		Незмінність	44.1118	27.9202	28.4072	26.3682	18.2946
	0.25	Зменшення	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
		Збільшення	52.4950	65.6695	33.9901	63.1841	56.8992
		Незмінність	47.5050	34.3305	66.0099	36.8159	43.1008
	0.1	Зменшення	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
		Збільшення	46.5070	60.2564	26.7652	55.7214	51.1628
		Незмінність	53.4930	39.7436	73.2348	44.2786	48.8372
0.25	0.5	Зменшення	**0.1996**	**0**	**0.1642**	**0**	**2.0155**
		Збільшення	57.2854	73.7892	41.2151	71.4760	67.1318
		Незмінність	42.5150	26.2108	58.6207	28.5240	30.8527
	0.25	Зменшення	**0.3992**	**0**	**0.1642**	**0**	**1.7054**
		Збільшення	54.0918	68.0912	39.4089	67.1642	65.8915
		Незмінність	45.5090	31.9088	60.4269	32.8358	32.4031
	0.1	Зменшення	**0.1996**	**0**	**0**	**0**	**1.7054**
		Збільшення	49.1018	60.8262	29.5567	55.2239	54.2636
		Незмінність	50.6986	39.1738	70.4433	44.7761	44.0310
0.1	0.5	Зменшення	20.3593	20.2279	64.5320	41.4594	63.4109
		Збільшення	50.4990	62.9630	18.8834	45.2736	31.6279
		Незмінність	29.1417	16.8091	16.5846	13.2670	4.9612
	0.25	Зменшення	21.7565	22.6496	68.1445	48.0929	67.4419
		Збільшення	46.7065	55.6980	13.7931	35.1575	25.8915
		Незмінність	31.5370	21.6524	18.0624	16.7496	6.6666
	0.1	Зменшення	15.7685	17.6638	41.3793	34.1625	44.1860
		Збільшення	46.9062	54.2735	45.8128	50.9121	51.4729
		Незмінність	37.3253	28.0627	12.8079	14.9254	4.3411

З табл.2 видно, що після повторного впровадження ДІ у стеганоповідомлення помітно знижується відсоток колірних матриць зі зменшеною кількістю 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості (аж до 0%, особливо, якщо ППС при первинному впровадженні складала 0.5 та 0.25 біт/піксель), що призводить до зростання відсотку матриць зі збільшеною та незмінною кількістю 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості. Притому, це спостереження характерне як для контейнерів в форматах без втрат, так і для контейнерів в форматах з втратами.

Таким чином, на основі характеру змін більшості елементів (ЦЗ, кадрів) послідовності можна зробити висновок про наявність/відсутність ДІ у контенті, який аналізується. З цією метою визначимо порогове значення відсотку зменшення кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості. У випадку, якщо первинна ППС складає 0.1 біт/піксель, порогове значення точно визначити не представляється можливим у зв'язку з розкидом значень табл. 2 для різних груп, оскільки завжди знайдеться оригінальна послідовність, яка має менший відсоток елементів зі зменшеною кількістю 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості. Для первинної

ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель для контейнерів в форматах без втрат приймемо порогове значення $T_{uncompressed} = 0.4$ та для контейнерів в форматах з втратами $T_{compressed} = 3$.

Для послідовності з P ЦЗ/кадрів ЦВ $C_1, C_2, \ldots, C_P$ з колірними складовими $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ основні кроки стеганоаналітичного алгоритму детектування наявності/відсутності ДІ, вбудованої методом LSB, наступні.

Крок 1. Вбудова ДІ (випадково сформованої бінарної послідовності).

Для кожного C_i, $i = \overline{1, P}$:

1.1. Вбудувати у $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ - колірні складові C_i методом LSB ДІ – випадково сформовану бінарну послідовність з ППС 0.5 біт/піксель. Результат - $S_i^{0.5}$ з колірними складовими $R_i^{(0.5)}, G_i^{(0.5)}, B_i^{(0.5)}$;

1.2. Вбудувати у $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ - колірні складові C_i методом LSB ДІ – випадково сформовану бінарну послідовність з ППС 0.25 біт/піксель. Результат - $S_i^{0.25}$ з колірними складовими $R_i^{(0.25)}, G_i^{(0.25)}, B_i^{(0.25)}$;

1.3. Вбудувати у $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ - колірні складові C_i методом LSB ДІ – випадково сформовану бінарну послідовність з ППС 0.1 біт/піксель. Результат - $S_i^{0.1}$ з колірними складовими $R_i^{(0.1)}, G_i^{(0.1)}, B_i^{(0.1)}$.

Крок 2. Визначення кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості у кожної колірної складової.

Для кожного C_i, $i = \overline{1, P}$:

2.1. Визначити $kr_i^{(C)}$, $kg_i^{(C)}$, $kb_i^{(C)}$ - кількість 4×4-блоків у $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ відповідно;

2.2. Визначити $kr_i^{(0.5)}$, $kg_i^{(0.5)}$, $kb_i^{(0.5)}$ - кількість 4×4-блоків у $R_i^{(0.5)}, G_i^{(0.5)}, B_i^{(0.5)}$ відповідно;

2.3. Визначити $kr_i^{(0.25)}$, $kg_i^{(0.25)}$, $kb_i^{(0.25)}$ - кількість 4×4-блоків у $R_i^{(0.25)}, G_i^{(0.25)}, B_i^{(0.25)}$ відповідно;

2.4. Визначити $kr_i^{(0.1)}$, $kg_i^{(0.1)}$, $kb_i^{(0.1)}$ - кількість 4×4-блоків у $R_i^{(0.1)}, G_i^{(0.1)}, B_i^{(0.1)}$ відповідно.

Крок 3. Визначення характеру змін кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості у кожної колірної складової.

Для кожного C_i, $i = \overline{1, P}$ обчислити:

$$dR_i^{(0.5)} = kr_i^{(C)} - kr_i^{(0.5)},\ dG_i^{(0.5)} = kg_i^{(C)} - kg_i^{(0.5)},\ dB_i^{(0.5)} = kb_i^{(C)} - kb_i^{(0.5)};$$

$$dR_i^{(0.25)} = kr_i^{(C)} - kr_i^{(0.25)},\ dG_i^{(0.25)} = kg_i^{(C)} - kg_i^{(0.25)},\ dB_i^{(0.25)} = kb_i^{(C)} - kb_i^{(0.25)};$$

$$dR_i^{(0.1)} = kr_i^{(C)} - kr_i^{(0.1)},\ dG_i^{(0.1)} = kg_i^{(C)} - kg_i^{(0.1)},\ dB_i^{(0.1)} = kb_i^{(C)} - kb_i^{(0.1)}.$$

Крок 4. Визначити загальну кількість матриць ЦЗ/кадрів відео послідовності, у яких спостерігається зменшення кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості у кожної колірної складової.

4.1. *Якщо* $dR_i^{(0.5)} > 0$, *то* $kR^{(0.5)} = kR^{(0.5)} + 1$ ($kR^{(0.5)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.2. *Якщо* $dR_i^{(0.25)} > 0$, *то* $kR^{(0.25)} = kR^{(0.25)} + 1$ ($kR^{(0.25)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.3. *Якщо* $dR_i^{(0.1)} > 0$, *то* $kR^{(0.1)} = kR^{(0.1)} + 1$ ($kR^{(0.1)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.4. *Якщо* $dG_i^{(0.5)} > 0$, *то* $kG^{(0.5)} = kG^{(0.5)} + 1$ ($kG^{(0.5)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.5. *Якщо* $dG_i^{(0.25)} > 0$, *то* $kG^{(0.25)} = kG^{(0.25)} + 1$ ($kG^{(0.25)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.6. *Якщо* $dG_i^{(0.1)} > 0$, *то* $kG^{(0.1)} = kG^{(0.1)} + 1$ ($kG^{(0.1)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.7. *Якщо* $dB_i^{(0.5)} > 0$, *то* $kB^{(0.5)} = kB^{(0.5)} + 1$ ($kB^{(0.5)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.8. *Якщо* $dB_i^{(0.25)} > 0$, *то* $kB^{(0.25)} = kB^{(0.25)} + 1$ ($kB^{(0.25)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості);

4.9. *Якщо* $dB_i^{(0.1)} > 0$, *то* $kB^{(0.1)} = kB^{(0.1)} + 1$ ($kB^{(0.1)}$ - кількість матриць у послідовності зі зменшенням кількості 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості).

Крок 5. Обчислити:

$$pR^{(0.5)} = \frac{kR^{(0.5)}}{P} \cdot 100\%,\ pR^{(0.25)} = \frac{kR^{(0.25)}}{P} \cdot 100\%,\ pR^{(0.1)} = \frac{kR^{(0.1)}}{P} \cdot 100\%;$$

$$pG^{(0.5)} = \frac{kG^{(0.5)}}{P} \cdot 100\%,\ pG^{(0.25)} = \frac{kG^{(0.25)}}{P} \cdot 100\%,\ pG^{(0.1)} = \frac{kG^{(0.1)}}{P} \cdot 100\%;$$

$$pB^{(0.5)} = \frac{kB^{(0.5)}}{P} \cdot 100\%,\ pB^{(0.25)} = \frac{kB^{(0.25)}}{P} \cdot 100\%,\ pB^{(0.1)} = \frac{kB^{(0.1)}}{P} \cdot 100\%.$$

Крок 6. Детектування наявності/відсутності ДІ.

6.1. *Якщо*

$$\left(pR^{(0.5)} \le T \text{ AND } pR^{(0.25)} \le T\right) \text{OR } \left(pR^{(0.5)} \le T \text{ AND } pR^{(0.1)} \le T\right) \text{OR}$$
$$\left(pR^{(0.25)} \le T \text{ AND } pR^{(0.1)} \le T\right) \text{OR}$$
$$\left(pR^{(0.5)} \le T \text{ AND } pR^{(0.25)} \le T \text{ AND } pR^{(0.1)} \le T\right),$$

то $C_1, C_2, ..., C_P$ містять вбудовану ДІ у червоній колірній складовій;

6.2. *Якщо*

$$\left(pG^{(0.5)} \le T \text{ AND } pG^{(0.25)} \le T\right) \text{OR } \left(pG^{(0.5)} \le T \text{ AND } pG^{(0.1)} \le T\right) \text{OR}$$
$$\left(pG^{(0.25)} \le T \text{ AND } pG^{(0.1)} \le T\right) \text{OR}$$
$$\left(pG^{(0.5)} \le T \text{ AND } pG^{(0.25)} \le T \text{ AND } pG^{(0.1)} \le T\right),$$

то $C_1, C_2, ..., C_P$ містять вбудовану ДІ у зеленій колірній складовій;

6.3. *Якщо*

$$\left(pB^{(0.5)} \le T \text{ AND } pB^{(0.25)} \le T\right)\text{OR}\left(pB^{(0.5)} \le T \text{ AND } pB^{(0.1)} \le T\right)\text{OR}$$
$$\left(pB^{(0.25)} \le T \text{ AND } pB^{(0.1)} \le T\right)\text{OR}$$
$$\left(pB^{(0.5)} \le T \text{ AND } pB^{(0.25)} \le T \text{ AND } pB^{(0.1)} \le T\right),$$

то $C_1, C_2, ..., C_P$ містять вбудовану ДІ у синій колірній складовій.

Для оцінки ефективності розробленого алгоритму у середовищі MatLAB був проведений обчислювальній експеримент на базі наступних цифрових контентів:

- 367 відеопослідовностей розміром кадру 320×240, збережених в форматі з втратами, які отримані непрофесіональною камерою, а також роліки, зняті на мобільний телефон (набір 1);
- 49 відеопослідовностей розміром кадру 176×144, збережених в форматі з втратами, які отримані камерою застарілої моделі мобільного телефону (набір 2);
- 60 послідовностей ЦЗ з [13] розміром 256×256, збережених в форматі без втрат (набір 3).

Слід зауважити, що перевага надається відеороликам, які зняті камерами мобільних пристроїв, оскільки вони є найрозповсюдженими. Такі ЦВ зберігаються в форматах з втратами та мають розширення *.3gp або *.mp4. ЦВ в форматах без втрат у просторі Internet майже не зустрічаються.

Первинна вбудова ДІ здійснювалась лише в одну колірну складову, випадково обрану для кожного ЦВ (кожної послідовності ЦЗ) з ППС 0.5 біт/піксель (в кожний другий біт), 0.25 біт/піксель (в кожний четвертий біт), 0.167 біт/піксель (в кожний шостий біт), 0.125 біт/піксель (в кожний восьмий біт), 0.1 біт/піксель (в кожний десятий біт). Вбудова в одну постійну колірну складову обумовлена тим, що у сусідніх кадрах ЦВ можуть відрізнятися лише ті ділянки, які відповідають руху, а фон майже не змінюється, тому якщо здійснювати вбудову ДІ у різні компоненти кадрів, можна запідозрити наявність ДІ у ЦВ простим порівнянням колірних компонент сусідніх кадрів.

На основі детектування наявності/відсутності ДІ у цифровому контенті визначені помилки першого та другого роду для порогових значень $T = 0.4$ та $T = 3$, які представлені у табл. 3, 4 відповідно.

Таблиця 3.

Ефективність детектування наявності/відсутності ДІ у цифрових контентах при $T = 0.4$, %

Набір цифрових контентів	Помилки	ППС, біт/піксель				
		0.5	0.25	0.167	0.125	0.1
Набір 1	1-го роду	0	0	4.63	97	100
	2-го роду	0	0	0	0	0
Набір 2	1-го роду	0	0	6.12	53.06	87.75
	2-го роду	0	0	0	1.02	0
Набір 3	1-го роду	0	0	0	5	48.33
	2-го роду	5.83	5.87	6.67	6.67	5.83

Як видно з табл.3,4 запропонований стеганоаналітичний алгоритм є ефективним для ППС 0.5, 0.25 та 0.167 біт/піксель, на відміну від ППС 0.125 та 0.1 біт/піксель.

Таблиця 4.

Ефективність детектування наявності/відсутності ДІ у цифрових контентах при $T = 3$, %

Набір цифрових контентів	Помилки		ППС, біт/піксель			
		0.5	0.25	0.167	0.125	0.1
Набір 1	1-го роду	0	0	0	74.11	98.91
	2-го роду	0	0	0	0	0
Набір 2	1-го роду	0	0	0	6.12	40.82
	2-го роду	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
Набір 3	1-го роду	0	0	0	0	0
	2-го роду	49.17	45.83	49.17	48.33	50.83

Окремого зауваження потребують результати детектування для набору 3 при $T = 3$ (табл. 4), де помилки першого роду складають 0% навіть при малій ППС. ЦЗ набору 3 збережені в форматі без втрат, крім того завдяки невеликому розміру зображень відсоток елементів зі зменшеною кількістю 4×4-блоків з однаковими значеннями яскравості в незаповненій колірній матриці знаходиться у діапазоні від 0.6 до 6 (при ППС 0.167, 0.125 та 0.1 біт/піксель), та від 0.5 до 11 (при ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель), саме тому при $T = 3$ у наборі 3 не спостерігається пропуск наявності ДІ, але значно зростає відсоток помилок другого роду. Тому порогове значення $T = 3$ може використовуватися лише для цифрових контентів, збережених в форматах з втратами.

Висновки

У роботі запропонований стеганоаналітичний алгоритм детектування наявності/відсутності вбудови ДІ у послідовності ЦЗ/відео послідовності, сформованої методом LSB з малою ППС (не більше 0.5 біт/пікскель).

Встановлено порогове значення для контейнерів в форматах з втратами $T = 3$ незалежно від колірної складової, однак алгоритм може бути використано як універсальний (як для контейнерів в форматах з втратами, так і в форматах без втрат) з пороговим значенням $T = 0.4$. Для ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель стеганоалгоритм є ефективним, помилки першого роду складають 0%.

Список літератури

1. Бобок, И.И. Стеганоаналитический метод для цифрового сигнала-контейнера, хранящегося в формате с потерями / И.И. Бобок // Сучасний захист інформації. – 2011. – №2. – С. 50 - 60.
2. Аграновский, А.В. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ : [монография] / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. – М.: Вузовская книга, 2009. – 220 с.
3. Bohme, R. Advanced statistical steganalysis / R. Bohme. – Springer, 2010. – 302 p.
4. Alimoradi, D. The effect of correlogram properties on blind steganalysis in JPEG images / D. Alimoradi, M. Hasanzadeh // Journal of computing and security. – 2014. – Vol. 1, No.1. – PP. 39-46.
5. Visavalia, S.R. Improving blind image steganalysis using genetic algoritm and fusion technique / S.R. Visavalia, Amit Ganatra // Journal of computer science. – 2014. – Vol. 1. – PP. 40-46.
6. Yamini, B. Blind steganalysis: to analyse the detection rate of stego images using different steganalytic techniques with support vector machine classifier / B. Yamini, R. Sabitha // International journal of computer applications. – 2014. – No. 2. – PP. 22-25.

7. Manjunath, C. Added and subtracted feature level video steganalysis in neighbor adaptive embedded / C. Manjunath, Mis.B. Sowjanya // International journal of professional engineering studies. – 2015. – Vol.5. – Issue 2. – PP. 308-316.
8. Xikai, Xu. Universal spatial feature set for video steganalysis / Xu. Xikai, Jing Dong, Tieniu Tan // Image Processing (ICIP), 2012 19th IEEE International Conference on Sept. 30 - Oct. 3, 2012. – PP. 245-248.
9. Кобозева, А.А. Стеганоаналитеческий метод для цифровых контейнеров, хранящихся в формате без потерь / А.А. Кобозева, А.В. Ахмаметьева, А.А. Ефименко // Інформаційна безпека. – 2014. – №1(13). – С. 31 - 42.
10. Ахмаметьева, А.В. Усовершенствование стеганоаналитического метода, основанного на анализе пространственной области цифровых контейнеров / А.В. Ахмаметьева // Інформатика та математичні методи в моделюванні . – 2015. – Т.5. – № 4. – С. 367 - 375.
11. NRCS Photo Gallery: [Електронний ресурс] // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Режим доступу: http://photogallery.nrcs.usda.gov (Дата звертання: 26.07.2012).
12. WallpapersCraft: [Электронный ресурс] // Широкоформатные обои на рабочий стол, картинки, фото. Режим доступа: http://wallpaperscraft.ru/ (Дата обращения: 21.11.2014).
13. Never-compressed image database: [Електронний ресурс] // Sam Houston State University, USA. Режим доступу: http://www.shsu.edu/~qxl005/New/Downloads/ (Дата звертання: 21.12.2015).

СТЕГАНОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, ОСНОВАННЫЙ НА АНАЛИЗЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ ЦИФРОВЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

Д.А. Маевский, А.В. Ахмаметьева

Одесский национальный политехнический университет,
пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: anna-odessitka@mail.ru

В работе предложен стеганоаналитический алгоритм, основанный на учете различий характера изменений количества блоков с одинаковыми значениями яркости цветовых матриц последовательности изображений/кадров видеопоследовательности в результате первичного и повторного внедрения дополнительной информации. Предложенный стеганоаналитический алгоритм осуществляет анализ пространственной области цифровых контентов (как в форматах с потерями, так и в форматах без потерь) и направлен на выявление наличия вложения дополнительной информации методом модификации наименьшего значащего бита с незначительной скрытой пропускной способностью (не более 0.5 бит/пиксель). Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: стеганоаналитический алгоритм, метод модификации наименьшего значащего бита, пространственная область контейнера, цифровое изображение, цифровая видеопоследовательность, формат хранения с потерями, формат хранения без потерь

STEGANALYTIC ALGORITHM, BASED ON THE ANALYSIS OF THE SPATIAL DOMAIN OF DIGITAL CONTAINERS

D.A. Maevsky, A.V. Akhmamet’ieva

Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: anna-odessitka@mail.ru

The paper presents the steganalytic algorithm, based on the accounting of differences of character in the change of the number of blocks with the equal color brightness values of color matrices of sequence of images / frames of a video sequence as a result of primary and repeated insertion of additional information. The proposed steganalytic algorithm analyzes digital content in the spatial domain and is aimed to detect the presence of the embedding of additional information by modification of the least significant bits with a small hidden capacity (not more than 0.5 bit / pixel). Results of computational experiment are shown.

Keywords: Steganalytic algorithm, method of the modification of the least significant bit, the spatial domain of the container, a digital image, a digital video sequence, losses format, lossless storage format