

**Уважаемый пользователь!**

Обращаем ваше внимание, что система Антиплагиат отвечает на вопрос, является ли тот или иной фрагмент текста заимствованным или нет. Ответ на вопрос, является ли заимствованный фрагмент именно плагиатом, а не законной цитатой, система оставляет на ваше усмотрение. Также важно отметить, что система находит источник заимствования, но не определяет, является ли он первоисточником.

**Информация о документе:****Имя исходного файла:** Диссертация\_v.5.02.docx**Имя компании:** ТУСУР**Тип документа:** Прочее**Имя документа:** Диссертация\_v.5.02.docx**Дата проверки:** 10.07.2018 16:29**Модули поиска:**

Интернет (Антиплагиат), Цитирования, Диссертации и авторефераты РГБ, Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика, Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru", Университетская библиотека онлайн, Модуль поиска ЭБС "Айбукс", Коллекция юридических документов, Модуль поиска ЭБС "Лань"

**Текстовые статистики:****Индекс читаемости:** сложный**Неизвестные слова:** в пределах нормы**Макс. длина слова:** в пределах нормы**Большие слова:** в пределах нормы

Источник	Ссылка на источник	Коллекция/модуль поиска	Доля в отчёте	Доля в тексте
<input type="checkbox"/> [1]	<a href="http://www.nbpublish.com/library_read_article.php?id=24919">http://www.nbpublish.com/library_read_article.php?id=24919</a>	Интернет (Антиплагиат)	0	1,91%
<input type="checkbox"/> [2] Сборник работ ...	<a href="http://research.ifmo.ru/file/stat/227/grant_asp_pobed.pdf">http://research.ifmo.ru/file/stat/227/grant_asp_pobed.pdf</a>	Интернет (Антиплагиат)	0	0,98%
<input type="checkbox"/> [3]	<a href="http://www.nbpublish.com/itmag/contents_2015_3.html">http://www.nbpublish.com/itmag/contents_2015_3.html</a>	Интернет (Антиплагиат)	0	0,92%
<input type="checkbox"/> [4]	<a href="http://nbpublish.com/itmag/contents_2015_3.html">http://nbpublish.com/itmag/contents_2015_3.html</a>	Интернет (Антиплагиат)	0	0,92%
<input type="checkbox"/> [5] Сборник работ ...	<a href="http://research.ifmo.ru/file/stat/227/grant_asp_pobed.pdf#1">http://research.ifmo.ru/file/stat/227/grant_asp_pobed.pdf#1</a>	Интернет (Антиплагиат)	0	0,58%
<input checked="" type="checkbox"/> [6] Источник 6		Цитирования	0,48%	0,48%
<input checked="" type="checkbox"/> [7] Балтаев, Родион Хамз...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100900000/rsl01009438000/rsl01009438...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100900000/rsl01009438000/rsl01009438...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,42%	0,45%
<input checked="" type="checkbox"/> [8] <a href="https://esu.citis.ru...">https://esu.citis.ru...</a>	<a href="https://esu.citis.ru/dissertation/GZHXUSSVAXHTJ3M8KHS4FXK3">https://esu.citis.ru/dissertation/GZHXUSSVAXHTJ3M8KHS4FXK3</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,03%	0,44%
<input checked="" type="checkbox"/> [9] Кайнарова, Елена Мих...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100700000/rsl01007579000/rsl01007579...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100700000/rsl01007579000/rsl01007579...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,19%	0,4%
<input checked="" type="checkbox"/> [10] EFFICIENCY OF STEGAN...	<a href="http://cyberrus.com/wp-content/uploads/2017/10/53-60-220-17...">http://cyberrus.com/wp-content/uploads/2017/10/53-60-220-17...</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,32%	0,37%
<input checked="" type="checkbox"/> [11] Мартимов, Руслан Юрь...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100800000/rsl01008927000/rsl01008927...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100800000/rsl01008927000/rsl01008927...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,26%	0,35%
<input checked="" type="checkbox"/> [12] Эль-Хатиб Самер Адна...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100900000/rsl01009438000/rsl01009438...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100900000/rsl01009438000/rsl01009438...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,31%	0,34%
<input checked="" type="checkbox"/> [13] Жилкин, Михаил Юрьев...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004418000/rsl01004418...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004418000/rsl01004418...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,15%	0,33%

☑ [14] <a href="https://esu.citis.ru...">https://esu.citis.ru...</a>	<a href="https://esu.citis.ru/dissertation/Z3OJHIX6493B5CM0DCTGXFEF">https://esu.citis.ru/dissertation/Z3OJHIX6493B5CM0DCTGXFEF</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,05%	0,31%
☑ [15] UNIVERSITY OF CALIFO...	<a href="https://vision.ece.ucsb.edu/sites/vision.ece.ucsb.edu/files/...">https://vision.ece.ucsb.edu/sites/vision.ece.ucsb.edu/files/...</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,11%	0,28%
☑ [16] Сборник трудов IV Вс...	<a href="http://research.ifmo.ru/file/stat/252/sbornil_vkmu.pdf#3">http://research.ifmo.ru/file/stat/252/sbornil_vkmu.pdf#3</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,2%	0,25%
☑ [17] Дзьобан, Павел Игор...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100800000/rsl01008933000/rsl01008933...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100800000/rsl01008933000/rsl01008933...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,16%	0,24%
☑ [18] ООП	<a href="http://www.bukep.ru/assets/files/doc_asp/asp/oop/05.13.19.pd...">http://www.bukep.ru/assets/files/doc_asp/asp/oop/05.13.19.pd...</a>	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,24%
☑ [19] Дрюченко, Михаил Ана...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004920000/rsl01004920...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004920000/rsl01004920...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,09%	0,24%
☑ [20] Елисеев, Алексей Сер...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100600000/rsl01006614000/rsl01006614...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100600000/rsl01006614000/rsl01006614...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,11%	0,23%
☑ [21] Велигоша, Дмитрий Ал...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100500000/rsl01005504000/rsl01005504...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100500000/rsl01005504000/rsl01005504...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,01%	0,2%
☑ [22] Отчеты по гранту.	<a href="http://af.tusur.ru/scientific/info/Reports.zip">http://af.tusur.ru/scientific/info/Reports.zip</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,15%	0,18%
☑ [23] Steganography and Hi...	<a href="http://docplayer.net/31174178-Steganography-and-hiding-data-...">http://docplayer.net/31174178-Steganography-and-hiding-data-...</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,09%	0,18%
☑ [24] Кибернетика и програ...	<a href="http://www.e-notabene.ru/kp/rubric_6.html">http://www.e-notabene.ru/kp/rubric_6.html</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,17%	0,17%
☑ [25] Промышленная собстве...	<a href="http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=20142">http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=20142</a>	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,12%
☑ [26] КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА...	<a href="https://www.book.ru/book/922747">https://www.book.ru/book/922747</a>	Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"	0%	0,12%
☑ [27] Аннотированный сборн...	<a href="http://research.ifmo.ru/file/stat/48/bak_2016.pdf">http://research.ifmo.ru/file/stat/48/bak_2016.pdf</a>	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,12%
☑ [28] Михайличенко, Ольга ...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004368000/rsl01004368...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004368000/rsl01004368...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,12%
☑ [29] Сборник научных труд...	<a href="http://www.ssau.ru/files/events/2016/sb_trudov_pit2016.pdf">http://www.ssau.ru/files/events/2016/sb_trudov_pit2016.pdf</a>	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,11%
☑ [30] Скляревский, Даниил ...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100800000/rsl01008856000/rsl01008856...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100800000/rsl01008856000/rsl01008856...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,05%	0,11%
☑ [31] КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА...	<a href="https://www.book.ru/book/922746">https://www.book.ru/book/922746</a>	Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"	0,04%	0,1%
☑ [32] КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА...	<a href="https://www.book.ru/book/922736">https://www.book.ru/book/922736</a>	Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"	0%	0,1%
☑ [33] КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА...	<a href="https://www.book.ru/book/922741">https://www.book.ru/book/922741</a>	Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"	0%	0,1%
☑ [34] <a href="https://esu.citis.ru...">https://esu.citis.ru...</a>	<a href="https://esu.citis.ru/dissertation/38p4G00KI73915JHh-2cLb00">https://esu.citis.ru/dissertation/38p4G00KI73915JHh-2cLb00</a>	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,1%
☑ [35] Кононов, Андрей Алек...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100300000/rsl01003410000/rsl01003410...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100300000/rsl01003410000/rsl01003410...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,09%
☑ [36] An Extensive Survey ...	<a href="http://www.ijetae.com/files/Volume4Issue3/IJETAE_0314_121.pd...">http://www.ijetae.com/files/Volume4Issue3/IJETAE_0314_121.pd...</a>	Интернет (Антиплагиат)	0,01%	0,09%
☑ [37] Научно-технический в...	<a href="http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=17599">http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=17599</a>	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,08%
☑ [38] КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА...	<a href="https://www.book.ru/book/922740">https://www.book.ru/book/922740</a>	Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"	0%	0,08%
☑ [39] Сорокин, Леонид Андр...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100900000/rsl01009473000/rsl01009473...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100900000/rsl01009473000/rsl01009473...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,08%
☑ [40] Download	<a href="http://i-us.ru/Files/Pdfs/2014_4.pdf">http://i-us.ru/Files/Pdfs/2014_4.pdf</a>	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,08%
☑ [41] Прохожев, Николай Ни...	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004716000/rsl01004716...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004716000/rsl01004716...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,08%

<input checked="" type="checkbox"/>	[42] <a href="#">Диссертация на тему ...</a>	<a href="http://dissercat.com/content/issledovanie-i-razrabotka-metod...">http://dissercat.com/content/issledovanie-i-razrabotka-metod...</a>	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,08%
<input checked="" type="checkbox"/>	[43] <a href="#">Жизняков, Аркадий Ль...</a>	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004401000/rsl01004401...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004401000/rsl01004401...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0,04%	0,08%
<input checked="" type="checkbox"/>	[44] <a href="#">Разинков, Евгений Ви...</a>	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100600000/rsl01006521000/rsl01006521...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100600000/rsl01006521000/rsl01006521...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,07%
<input checked="" type="checkbox"/>	[45] <a href="#">КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА...</a>	<a href="https://www.book.ru/book/922743">https://www.book.ru/book/922743</a>	Модуль поиска ЭБС "BOOK.ru"	0%	0,07%
<input checked="" type="checkbox"/>	[46] <a href="#">Пасечник, Антон Серг...</a>	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004739000/rsl01004739...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100400000/rsl01004739000/rsl01004739...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,06%
<input checked="" type="checkbox"/>	[47] <a href="#">119721</a>	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=119721">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=119721</a>	Университетская библиотека онлайн	0%	0,06%
<input checked="" type="checkbox"/>	[48] <a href="#">Алгоритмическая эсте...</a>	<a href="http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=333872">http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=333872</a>	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,06%
<input checked="" type="checkbox"/>	[49] <a href="#">252839</a>	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=252839">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=252839</a>	Университетская библиотека онлайн	0%	0,06%
<input checked="" type="checkbox"/>	[50] <a href="#">Анализ текстуры трех...</a>	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=89357">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=89357</a>	Университетская библиотека онлайн	0%	0,06%
<input checked="" type="checkbox"/>	[51] <a href="#">Анализ текстуры трех...</a>	<a href="http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=28720">http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=28720</a>	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,06%
<input checked="" type="checkbox"/>	[52] <a href="#">ДОКУМЕНТ БЕЗ НАЗВАНИ...</a>	<a href="http://online.lexpro.ru/document/9608953">http://online.lexpro.ru/document/9608953</a>	Коллекция юридических документов	0,05%	0,05%
<input checked="" type="checkbox"/>	[53] <a href="#">ДОКУМЕНТ БЕЗ НАЗВАНИ...</a>	<a href="http://online.lexpro.ru/document/8099899">http://online.lexpro.ru/document/8099899</a>	Коллекция юридических документов	0,05%	0,05%
<input checked="" type="checkbox"/>	[54] <a href="#">ДОКУМЕНТ БЕЗ НАЗВАНИ...</a>	<a href="http://online.lexpro.ru/document/9313259">http://online.lexpro.ru/document/9313259</a>	Коллекция юридических документов	0%	0,05%
<input checked="" type="checkbox"/>	[55] <a href="#">ДОКУМЕНТ БЕЗ НАЗВАНИ...</a>	<a href="http://online.lexpro.ru/document/23550638">http://online.lexpro.ru/document/23550638</a>	Коллекция юридических документов	0%	0,05%
<input checked="" type="checkbox"/>	[56] <a href="#">ДОКУМЕНТ БЕЗ НАЗВАНИ...</a>	<a href="http://online.lexpro.ru/document/23846738">http://online.lexpro.ru/document/23846738</a>	Коллекция юридических документов	0%	0,05%
<input checked="" type="checkbox"/>	[57] <a href="#">Касимов, Артем Фануз...</a>	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100200000/rsl01002934000/rsl01002934...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100200000/rsl01002934000/rsl01002934...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,04%
<input checked="" type="checkbox"/>	[58] <a href="#">Вестник Иркутского Г...</a>	<a href="http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=16621">http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=16621</a>	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[59] <a href="#">119848</a>	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=119848">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=119848</a>	Университетская библиотека онлайн	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[60] <a href="#">200547</a>	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=200547">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=200547</a>	Университетская библиотека онлайн	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[61] <a href="#">Корябкина, Ирина Вал...</a>	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl0100300000/rsl01003303000/rsl01003303...">http://dlib.rsl.ru/rsl0100300000/rsl01003303000/rsl01003303...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[62] <a href="#">Эстетика цифрового и...</a>	<a href="http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=333825">http://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=333825</a>	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[63] <a href="#">72010</a>	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72010">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72010</a>	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[64] <a href="#">134474</a>	<a href="http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2146&amp;p_f...">http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2146&amp;p_f...</a>	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,03%

<input checked="" type="checkbox"/>	[65] <a href="#">Компьютерное зрение</a>	<a href="http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=18667">http://www.bibliorossica.com/book.html?&amp;currBookId=18667</a>	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[66] <a href="#">42631</a>	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42631">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42631</a>	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[67] <a href="#">58718</a>	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58718">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58718</a>	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,03%
<input checked="" type="checkbox"/>	[68] <a href="#">Коршунова, Наталья П...</a>	<a href="http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002737000/rsl01002737...">http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002737000/rsl01002737...</a>	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,03%

Оригинальные блоки: 96,47%

Заимствованные блоки: 2,95%

Заимствование из "белых" источников: 0,58%

Итоговая оценка оригинальности: **97,05%**

На правах рукописи

[11]

Башмаков Даниил Андреевич

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ВСТРОЕННЫХ СООБЩЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБЛАСТИ НЕПОДВИЖНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ МАЛОЙ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКЕ

Специальность 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

[7] Научный руководитель: д.т.н., профессор

Коробейников Анатолий Григорьевич

Санкт-Петербург – 2018

[14]

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ 14

1.1. Введение в предметную область 14

1.1.1. Терминология 14

1.1.2. Типы стеганоконтейнеров 15

1.1.3. Области встраивания в неподвижные изображения 17

1.1.4. Методы внедрения в пространственную область цифрового изображения 20

1.2. Выбор методов статистического выявления неподвижных изображений 22

1.2.1. Статистическое выявление 22

1.2.2. Требования, предъявляемые к методам выявления 23

1.2.3. Выбор методов статистического выявления 26

1.3. Методика оценки эффективности метода выявления 29

1.3.1. Понятие эффективности метода выявления 29

1.3.2. Эксперимент по оценке эффективности метода выявления 29

1.3.3. Способы интерпретации результатов эксперимента по оценке эффективности метода выявления 30

1.3.4. Способы представления результатов оценки эффективности метода выявления 36

1.3.5. Связь эффективности выявления с защищённостью информации 38

1.4. Выводы 40

ГЛАВА 2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ И ЕЁ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТЕЙНЕРА 42

2.1. Пространственная область и встраивание в LSB 42

2.1.1. Характеристики пространственной области изображения как стеганоконтейнера 42

2.1.2. Метод встраивания в плоскость LSB изображения 46

2.1.3. Искажения, вносимые встраиванием в плоскость LSB изображения и модель их детектирования 50

2.2. Возможности современных методов выявления в плоскости LSB изображений 53

2.2.1. Понятие отношение нагрузка-контейнер для встраивания в плоскость LSB изображения 53

2.2.2. Условия проведения эксперимента 54

2.2.3. Результаты оценки эффективности современных методов анализа в плоскости LSB 55

2.3. Зависимость эффективности выявления в плоскости LSB от характеристик изображения 57

2.3.1. Значимые характеристики изображения 57

2.3.2. Зависимость эффективности выявления от разрешения изображения 59

2.3.3. Зависимость эффективности выявления от предварительной фильтрации стеганоконтейнера 63

2.3.4. Зависимость эффективности выявления от цветового слоя изображения 66

2.3.5. Влияние доли однородного фона на эффективность выявления 69

2.4. Выводы 72

ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ В ФОНОВЫХ ОБЛАСТЯХ 74

3.1. Модель выявления в фоновых областях 74

3.1.1. Анализ причин падения эффективности выявления в фоновых областях 74

3.1.2. Условия анализа 76

3.1.3. Анализ непосредственных причин падения эффективности выявления 79

3.1.4. Анализ причины завышения прогноза длины встроенного сообщения 81

3.1.5. Точность оценки значения пикселя с использованием улучшенной формулы предсказания 85

3.1.6. Модель выявления в фоновых областях	88
3.2. Алгоритм прогноза значений пикселей в фоновой области по кортежам пикселей	93
3.2.1. Определение алгоритма прогноза по кортежам	93
3.2.2. Практическая оценка эффективности применения и вычислительная сложность алгоритма прогноза по кортежам	98
3.3. Алгоритм адаптивного прогноза в градиентных областях	101
3.3.1. Определение алгоритма адаптивного прогноза в градиентах	101
3.3.3. Практическая оценка эффективности применения и вычислительная сложность алгоритма адаптивного прогноза в градиентных областях	106
3.4. Алгоритм накопления статистики анализатора	108
3.4.1. Обоснование подхода	108
3.4.2. Определение метода повышения эффективности выявления за счёт накопления статистики	109
3.4.3. Практическая оценка эффективности применения алгоритма накопления статистики и его вычислительная сложность	112
3.5. Выводы	115
ГЛАВА 4. МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ВСТРОЕННЫХ СООБЩЕНИЙ И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ	117
4.1. Метод выявления с повышенной эффективностью	117
4.1.1. Алгоритм выделения однородного фона изображения	117
4.1.2. Рекомендованные значения настроек	121
4.1.3. Алгоритм прогноза значений пикселей в фоновой области	122
4.2. Архитектура прототипа программной системы-реализации	123
4.3. Экспериментальная оценка эффективности предложенного метода	125
4.3.1. Количественная оценка эффективности предложенного метода	125
4.3.2. Качественная оценка новизны функционала по сравнению с существующими решениями	128
4.4. Выводы	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	142
Приложение А	151
Приложение Б	153
Приложение В	155
ВВЕДЕНИЕ	

Методы встраивания информации в контейнеры всех видов (изображения, аудио, видео и другие) находят широкое применение в современном мире. Встраивание информации применяется как в легальных целях, так и в ходе противоправной деятельности.

К легальным применениям встраивания информации можно отнести цифровые водяные знаки в документах и объектах интеллектуальной собственности; организацию каналов скрытной передачи информации спецслужбами в рамках их деятельности; организацию каналов скрытной передачи информации в прочих целях (сохранение коммерческой тайны, тайны переписки и т. д.)

К наиболее распространённым способам противоправного применения техник встраивания информации относятся организация каналов скрытной передачи информации в целях организации и координации противоправной деятельности, в частности, террористических актов; организация каналов скрытной передачи информации с целью сокрытия факта выведения информации за охраняемый периметр, в частности, в рамках промышленного шпионажа [1, 2].

Выявление встроенных сообщений в контейнерах различной природы находит применение как в целях противодействия противоправным способам применения встраивания, так и в купе с легальными применениями, в качестве инструмента контроля и проверки [3]. В частности, методы выявления встроенных сообщений могут применяться в задачах выявления цифровых водяных знаков с целью доказательства модификации контейнера в ситуации, когда извлечение сообщения штатными средствами невозможно (например, в случае недоступности ключевой информации встраивания); пассивного противодействия каналам скрытной передачи информации, используемых в нелегальных целях, в части обнаружения и классификации таких каналов; противодействия промышленному шпионажу в части обнаружения факта попытки выведения охраняемой информации за периметр охраняемой зоны [4].

Неподвижные цифровые изображения являются одним из наиболее распространённых видов информации, передаваемой в сети интернет. Изображения могут выступать контейнером для встраивания сообщений. На сегодняшний день разработано множество способов встраивания в неподвижные цифровые изображения.

В условиях растущего разрешения изображений, отношение объёма встраиваемой полезной нагрузки и объёма изображения (далее – отношение нагрузка-контейнер, ОНК) как стеганоконтейнера постоянно снижается. В

данной работе рассматривается задача выявления факта встраивания информации методом стеганографии в неподвижные цифровые изображения и эффективность методов такого выявления (методов стеганодетектирования) при малых ОНК.

Методы встраивания подразделяются в зависимости от пространства (домена) изображения [5, 6]. Пространственный домен изображения, то есть матрица уровней яркости его пикселей является одним из наиболее распространённых доменов для стеганографического встраивания [7]. Несмотря на то, что встраивание в плоскость НЗБ не лишено недостатков, высокая скрытность и большой объём контейнера обеспечивает его популярность и на сегодняшний день. Существует множество методов выявления в пространственном домене изображения в плоскости НЗБ [8]. Однако при малых значениях ОНК методы показывают низкую эффективность [9]. Это, в свою очередь, не позволяет эффективно противодействовать скрытым каналам передачи информации, основанным на встраивании в пространственный домен изображения. Таким образом, повышение эффективности выявления факта встраивания в плоскость НЗБ является актуальной задачей [10].

Тенденция постоянного роста размеров стеганоконтейнеров вкпе с представлением о снижении эффективности выявления со снижением значения отношения нагрузка-контейнер определяет требование к методам выявления встроенных сообщений по повышению эффективности на малых значениях ОНК, как общей необходимой реакции на изменение условий противодействия каналам передачи данных, основанных на встраивании информации.

Задачи повышения эффективности детектирования факта встраивания в плоскость НЗБ рассматривались в работах как русских (В.Г. Грибунин, В. И. Коржик и другие), так и зарубежных учёных (А. Кер, Дж. Фридрич, М. Гольян). Таким образом, обеспечение высокой эффективности детектирования факта встраивания в плоскость НЗБ является актуальной задачей [3].

Степень разработанности темы. В работах В.И. Коржика обоснован подход по применению методов статистического выявления в задаче детектирования встроенных сообщений в неподвижных изображениях. Основой для диссертационного исследования послужили работы Д. Фридрич, А. Д. Кера и М. Голяна по разработке методов стеганодетектирования в пространственной области неподвижных цифровых изображений. В ходе работы выполнен анализ существующих методов повышения эффективности стеганодетектирования, предложенных в работах Р. Бёме, Ю. Сяо, Б. Нобору, П. Шоттле и других.

Также заделом для диссертационного исследования послужили работы В. Г. Грибунина, Р. М. Юсупова, А. В. Аграновского, И. В. Туринцева, А.А. Молдовяна, Н.А. Молдовяна, И. Н. Окова, Г. Ф. Кохановича и других.

Цель работы: повышение эффективности методов выявления встроенных сообщений в наименьших значащих битах пикселей неподвижных изображений при малых значениях отношения нагрузка-контейнер в задаче обеспечения защищённости информации путём предотвращения её утечек по каналам передачи информации на основе стеганографии.

Для достижения поставленной цели в диссертационном исследовании поставлена научная задача по разработке модели, алгоритмов и метода выявления встроенных сообщений в плоскости наименьших значащих бит пространственной области неподвижных изображений при малых значениях отношения нагрузка-контейнер.

Поставленная научная задача позволяет декомпозицию на следующие частные задачи:

Анализ существующих методов выявления встроенных сообщений в неподвижных цифровых изображениях в наименьших значащих битах (НЗБ).

Исследование эффективности существующих методов выявления встроенных сообщений в НЗБ неподвижных цифровых изображений при малых значениях ОНК, определение наиболее эффективного метода на сегодняшний день в рассматриваемых условиях.

Разработка модели выявления встроенных сообщений методом, определённым в задаче 2 в условиях малых значений ОНК, анализ модели, определение направлений по усовершенствованию метода.

Разработка алгоритмов выявления встроенных сообщений в НЗБ неподвижных изображений в условиях малых значений ОНК с повышенной эффективностью

Разработка метода выявления встроенных сообщений в НЗБ фоновых областей неподвижных цифровых изображений с повышенной точностью при малых значениях ОНК.

Экспериментальное подтверждение повышенной эффективности выявления при применении метода выявления встроенных сообщений, разработанного в задаче 5.

В

соответствие с заявленными целью и задачами работы объектом исследования являются [11]

контейнеры для встраивания, являющиеся неподвижными изображениями с информацией, встроенной в наименьшие значащие биты пространственной области.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы выявления встроенных сообщений в неподвижных



изображениях при малых значениях отношения нагрузка-контейнер.

Методы исследований. Поставленные задачи решены на основе применения теории защиты информации, теории вероятности и математической статистики, методов дискретной математики.

Методология исследования состоит в постановке и формализации задач, связанных с оценкой эффективности методов и алгоритмов выявления встроенных сообщений, описании модели сущностей, используемых для проведения оценок, разработке модели, методов и алгоритмов выявления встроенных сообщений в неподвижных изображениях, апробации полученных теоретических результатов посредством сравнительного анализа их реализаций с существующими решениями с получением количественных и качественных сравнительных оценок.

На защиту выносятся следующие основные положения:

Модель выявления встроенных сообщений в наименьших значащих битах фоновых областей пространственной области неподвижных изображений при малых значениях полезной нагрузки.

Алгоритмы выявления встроенных сообщений в наименьших значащих битах фоновых областей пространственной области неподвижных изображений при малых значениях полезной нагрузки.

Метод выявления встроенных сообщений в наименьших значащих битах пространственной области неподвижных изображений с повышенной эффективностью при малых значениях полезной нагрузки.

Научная новизна положений, выносимых на защиту, состоит в следующем:

Разработанная модель детектирования встроенных сообщений в наименьших значащих битах фоновых областей пространственной области неподвижных изображений отличается от существующих фокусом на особых семантических областях анализируемого изображения - фоновых областях. Выделение самостоятельной модели выявления в фоновых областях, анализ зависимости эффективности детектирования от особенностей работы метода в фоновых областях изображения проведены впервые.

Алгоритмы выявления встроенных сообщений в НЗБ фоновых областей неподвижных изображений обладают новизной за счёт задействования в алгоритмах крупных структур анализируемых пикселей, специфичных для фоновых областей естественных изображений. В отличие от существующих алгоритмов, разработанные оперируют специальными способами выделения соседства пикселей в специфичных областях изображения (в отличие от DIN, WS, SPAM и др.), сочетая это с задействованием накопленной статистики для использования в процессе анализа контейнера (в отличие от RS, SPA и др.)

Разработанный метод повышения эффективности выявления за счёт специальных алгоритмов прогноза значений пикселей в фоновых областях, обладает новизной по сравнению с известными методами повышения эффективности за счёт:

фокуса на задаче прогноза пикселей анализируемого изображения с точностью, критичной при выявлении на малых значениях ОНК;

применения алгоритма выделения фоновой области изображения, специфичной в задаче выявления методом WS.

Достоверность полученных результатов достигается путём использования апробированного математического аппарата, [11]

использованием достоверных исходных данных, системным подходом при описании объекта исследования, проведением сравнительного анализа полученных результатов с существующими показателями, использованием проверенных практик в оценке эффективности методов выявления, результатами практических экспериментов.

Практическая значимость состоит в том, что использование метода выявления встроенных сообщений, предложенного в работе, в системах защиты информации, в частности, в компонентах пассивного противодействия каналам передачи данных, основанных на стеганографии в плоскости НЗБ неподвижных цифровых изображений, позволят повысить уровень защищённости информации за счёт снижения вероятности реализации риска её несанкционированной утечки по таким каналам.

Апробация работы. Основные результаты работы представлялись на следующих конференциях: [8]

Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе», 2014 г.

III Всероссийский конгресс молодых учёных, 2014 г.

Всероссийский студенческий форум «Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России», 2015 г.

V Всероссийский конгресс молодых учёных, 2016 г.



VI Всероссийский конгресс молодых учёных, 2017 г.

Результаты работы внедрены в качестве составного компонента системы защиты информации

Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук

ИЗМИРАН (северо-западного филиала в Санкт-Петербурге), а также в образовательный процесс на кафедре Проектирования и безопасности компьютерных систем Университета ИТМО.

Структура диссертации. Диссертация [20] состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, [7] состоящего из 90 пунктов, включающих труды автора, и [11] двух приложений. [30] Материал изложен на 151 странице машинописного текста, содержит 39 рисунков и 10 таблиц. [11]

Диссертация включает 3 приложения.

Глава 1. В первой главе выполняется краткий обзор существующих на данный момент методов выявления сообщений в неподвижных цифровых изображениях. Приводится место выявления изображений в плоскости НЗБ в общей структуре методов выявления. Описываются требования, предъявляемые к методу выявления. Рассматривается вопрос оценки эффективности метода выявления, предлагается формальная метрика оценки, позволяющая сравнить эффективность нескольких методов выявления между собой. Предлагается подход к графическому представлению эффективности метода выявления, позволяющий наглядно отобразить эффективность нескольких методов на графике в единых осях. Приводится обзор существующих методов выявления сообщений в неподвижных цифровых изображениях, выбираются методы для дальнейшего углубленного исследования.

Глава 2. Рассматривается понятие домена цифрового изображения, анализируются характеристики пространственного домена цифрового изображения. Для оценки эффективности методов предлагается модель стеганографического встраивания и выявления встроенного сообщения в НЗБ неподвижного цифрового изображения и набора таких изображений. Определяются критерии применимости метода в задаче эффективного пассивного противодействия стеганографическому каналу скрытой передачи информации. С учётом предложенной модели, проведено углубленное исследование эффективности методов выявления, отобранных в Главе 1. Ключевыми выводами является недостаточность эффективности существующих алгоритмов выявления при малых значениях ОНК в задаче организации эффективного канала противодействия стеганографическим каналам скрытой передачи информации, а также определение наиболее эффективного метода выявления из предложенных – метода Weighted Stego (WS).

Глава 3. Рассматриваются факторы, влияющие на эффективность выявления сообщения в цифровом изображении методом WS. Анализируется математический аппарат метода WS, выводится связь между эффективностью анализа и точностью предсказания пикселей анализируемого изображения. Вводится понятие точности прогноза пикселя изображения. Показывается связь между высокоуровневой семантикой анализируемого изображения и эффективностью анализа методом WS. Разрабатывается модель выявления в областях однородного фона изображения. На основе разработанной модели показывается связь эффективности выявления в неподвижном изображении методом WS с точностью прогноза значения пикселя в фоновых областях анализируемого изображения. Предлагаются алгоритмы прогноза значений пикселей в фоновых областях с повышенной точностью по сравнению с известными, учитывающие высокоуровневую семантику анализируемого изображения, высокоуровневые статистики изображения и группы изображений.

Глава 4. Предлагается алгоритм выделения фоновых областей изображения. Предлагается метод выявления на основе метода WS с повышенной эффективностью за счёт использования предложенных в главе 3 алгоритмов прогноза значений пикселей фоновых областей. Приводятся результаты практических экспериментов с целью оценки эффективности предложенных методов выявления в пространственной области. Проводится сравнительный анализ эффективности существующих методов и предложенного метода. Подтверждается повышенная эффективность существующего метода при малых значениях ОНК.

Личный вклад.

Положения, выносимые на защиту, отражают личный вклад автора в данную работу.

[11]

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ

Введение в предметную область

Терминология

В настоящее время различные источники по-разному определяют понятия, используемые в работах по

стеганографии и выявлению встроенных сообщений. В дальнейшем в данной работе будут использованы следующие понятия:

Стеганоконтейнер, контейнер – документ, существующий в виде цифрового файла, в который методами стеганографии внедряется информация. Стеганоконтейнер без внедрённой информации называется пустым контейнером. Стеганоконтейнер с внедрённой информацией называется стеганопосылкой. Термин стеганоконтейнер применяется в случае, если неизвестно, внедрялась ли в него информация.

Тип стеганоконтейнера определяется в зависимости от характера представления и восприятия пользователем информации, которую он представляет: неподвижные цифровые изображения, видеопоследовательности, аудиопоследовательности и т. д.

Сообщение (также – внедрённое сообщение, нагрузка) – информация, внедряемая методами стеганографии в стеганоконтейнер с целью скрытой передачи.

Тип сообщения, так же, как и тип стеганоконтейнера, определяется по характеру представления и восприятия пользователем информации, представляемой сообщением.

Встраивание, внедрение – операция добавления сообщения в стеганоконтейнер методами стеганографии.

Отношение нагрузка-контейнер, ОНК – отношение размера сообщения к размеру контейнера, выраженное в процентах. Метод вычисления размеров сообщения и контейнера определяется индивидуально для каждого типа сообщения и контейнера.

Выявление встроенного сообщения (стеганодетектирование) – процесс определения факта наличия встроенного сообщения в контейнере, не включающий задачи его локализации в анализируемом контейнере и выделения сообщения из анализируемого контейнера.

Метод выявления – метод, позволяющий для стеганоконтейнера сделать вывод о наличии или отсутствии внедрённого сообщения, а также, опционально, получить оценку длины встроенного сообщения.

Система выявления – программное решение, основанное на реализации метода выявления, позволяющее по документу отнести его к пустым контейнерам либо стеганопосылкам.

Стеганоканал – канал передачи данных в виде стеганоконтейнеров (пустых либо стеганопосылок).

Эффективность метода выявления – мера достоверности при отнесении анализируемого стеганоконтейнера к пустым контейнерам либо к стеганопосылкам. Метод расчёта эффективности определяется в зависимости от типа контейнера, сообщения и метода выявления.

Типы стеганоконтейнеров

В настоящее время в сетях передачи данных циркулирует цифровой контент, представленный в самых различных формах. Высокие объёмы передаваемой информации позволяют использовать в качестве стеганоконтейнеров документы следующих типов [11]:

неподвижное изображение;

видео;

аудио;

текст;

бинарные данные.

Каждый из перечисленных выше типов цифрового контента (за исключением текста и бинарных данных) может быть представлен в широком наборе форматов.

Методы внедрения сообщения в контейнер основываются на эксплуатации специфических особенностей реализации того или иного формата представления цифрового контента, либо на особенностях контента как такового (например, на избыточности данных в представлении неподвижного цифрового изображения). Поэтому алгоритмы внедрения сообщения, и, следовательно, противостоящие им методы выявления различаются от формата к формату и для различных типов цифрового контента.

Среди стеганоконтейнеров большое распространение получили неподвижные цифровые изображения [12]. Неподвижное изображение представлено в виде матрицы чисел, представляющих уровни яркости точек (пикселей) того или иного цветового слоя изображения. Несмотря на то, что в последнее десятилетие доля трафика в сети Интернет, приходящаяся на аудио и видео, значительно возросла, неподвижное изображение остаётся наиболее популярным стеганоконтейнером. Это обусловлено следующим рядом причин [12, 13]:

большие объёмы данных, передаваемых в сети Интернет в виде цифровых изображений, позволяют добиваться высокой пропускной способности стеганоканала даже при небольших значениях полезной нагрузки;

цифровое представление неподвижного изображения имеет относительно большой объём, из-за чего возможно внедрение больших по объёму сообщений с сохранением малых значений полезной нагрузки;

избыточность представления цифрового изображения позволяет использовать значительные области данных для внедрения сообщения при сохранении полной или практически полной незаметности для наблюдателя;

большое разнообразие и хорошая проработанность методов внедрения сообщений в неподвижное изображение.

Следует отметить, что последняя причина обуславливает большое поле для научной работы в области

выявления сообщений в неподвижных цифровых изображениях.

В настоящее время наблюдается постоянный рост разрешения изображений, передаваемых в сети интернет. Это позволяет, используя неподвижные цифровые изображения в качестве стеганоконтейнера, добиться высокой пропускной способности стеганоканала даже при малых значениях ОНК.

Области встраивания в неподвижные изображения

Методы встраивания и выявления в неподвижных цифровых изображениях различаются в зависимости от формата изображения. Различные форматы используют тот или иной способ декомпозиции содержимого изображения для представления его в цифровом виде для хранения, передачи и представления изображения в цифровом виде. В настоящее время наибольшее распространение (в общем и в стеганографии в частности) получили способы представления, основанные на следующих методах декомпозиции [14]:

без декомпозиции (данные представляются в пространственном распределении) – используются такими форматами, как BMP, PNG;

дискретно-косинусное преобразование – используется в стандарте JPEG;

вейвлет-преобразование – используется в стандарте JPEG2000.

Изображения, применяющие декомпозицию, тем не менее, используют представления данных без декомпозиции (пространственное распределение) для представления данных пользователю.

Несмотря на большое распространение форматов файлов, основанных на декомпозиции данных изображения, методы встраивания сообщения в пространственную область остаются популярными. Это связано с простотой представления данных, большим объёмом данных для встраивания, большим количеством и проработанностью методов внедрения сообщения. Также, популярность встраивания в пространственную область обусловлена тем, что, вне зависимости от используемого метода декомпозиции, любая система, представляющая изображение, способна представить его в виде пространственного распределения для показа пользователю. Таким образом, смена формата изображения в течение его жизненного цикла не влияет на способность представить изображение в виде пространственного распределения.

Наконец, практическая применимость методов, основанных на внедрении сообщения в пространственную область, обуславливается распространённостью форматов представления изображения, использующих скачки без потерь, не влияющих на область пространственного распределения (таких, как PNG).

При представлении изображения в виде пространственного распределения (также – пространственного домена) информация, составляющее изображение, представлена в виде двумерной матрицы значений, означающих яркость точки изображения. Размеры матрицы соответствуют количеству отдельных точек изображения. Элемент матрицы пространственного распределения называется пикселем. Количество пикселей по ширине и высоте изображения называется разрешением изображения.

В случае представления цветного изображения, каждому цветовому слою изображения соответствует отдельная матрица пространственного распределения. В зависимости от используемой модели, цветное изображение может быть представлено различным набором цветовых слоёв. Наиболее распространённые модели RGB и CMYK используют 3 и 4 цветовых слоя соответственно.

Наибольшее распространение получил способ представления пространственной области, при котором каждый пиксель представляет собой число длиной в 1 байт, то есть, находящееся в диапазоне от 0 до 255, где 0 соответствует наименьшей яркости пикселя, а 255 – наибольшей. При такой точности представления яркости пикселя пространственная область избыточна – незначительное изменение значений яркости пикселей не приводят к проявлению видимых человеческим глазом артефактов в изображении. Этот факт используется рядом методов встраивания в пространственную область неподвижных цифровых изображений [15].

Методы внедрения в пространственную область цифрового изображения

Методы внедрения в пространственную область эксплуатируют избыточность данных при представлении неподвижного цифрового изображения в виде матриц плоскостей цветовых компонент. Такие алгоритмы оперируют значениями элементов этих матриц, изменяя их так, чтобы при извлечении из абсолютных или относительных значений элементов матрицы можно было извлечь внедрённое сообщение. Алгоритмы различаются по конкретным способам, с помощью которых производится изменение значений пикселей.

Методы внедрения в наименьший значащий бит, или LSB-методы (Least significant bit – наименьший значащий бит) состоят в представлении внедряемого сообщения в виде последовательности бит и замены наименьших значащих бит пикселей одной из цветовых плоскостей изображения на биты сообщения. При сравнительно большой ёмкости контейнера при использовании такого метода, LSB-методы уязвимы к методам статистического выявления [16].

Методы, модифицирующие значения пикселей нескольких цветовых плоскостей изображения, как правило, выносятся в отдельную группу, несмотря на то, что являются модификацией LSB-методов. Наличие специфических сложностей, связанных с модификацией пикселей определённых цветовых областей позволяют говорить о таких методах как об отдельной группе [17].

Методы, основанные на добавлении шума (Noise-adding Based Steganography), так же называемые в литературе методами стохастической модуляции, призваны снизить уязвимость к статистическому выявлению. Среди них выделяется метод LSBM (LSB Matching), являющийся простейшей модификацией LSB-методов и позволяющий значительно снизить уязвимость к методам статистического выявления [18].

Группа методов, основанных на предсказании ошибки (Prediction error based steganography, ВРСS) использует предварительный анализ изображения с целью выбрать области, встраивание в которые приведёт к наименьшей заметности сообщения для СЧЗ и статистического выявления [19].

Методы, основанные на квантизации (Quantization based steganography), наиболее применимы в задачах встраивания цифровых водяных знаков, также могут быть использованы в стеганографии. Несмотря на ограниченную применимость в области пространственного распределения, в некоторых случаях использование методов этой группы позволяет добиться большой незаметности встроенного сообщения для методов статистического выявления [20].

Среди представленных, LSB-методы и их модификации, такие, как LSBM, в настоящее время получили наибольшую распространённость в стеганографии в области пространственного распределения. Это связано с рядом причин, среди которых [16, 17]:

большая ёмкость контейнера;

простота и интуитивная понятность методов внедрения и извлечения сообщения;

вычислительная простота методов внедрения и извлечения сообщения;

высокая скрытность при малых значениях ОНК для методов выявления;

рост разрежений изображений напрямую влияет на рост стеганоcontainers и позволяет встраивать более длинные сообщения с теми же значениями ОНК;

Выбор методов статистического выявления неподвижных изображений

Статистическое выявление

Выявления встроенных сообщений может быть определено как задача классификации по двум категориям [21].

Цель выявления – определить, является ли анализируемое изображение пустым контейнером или стеганопосылкой. Наиболее общее деление методов выявления основывается на их универсальности. Методы выявления делятся на три следующие категории:

специфичные – позволяют обнаруживать сообщение, внедрённое с использованием конкретного метода стеганографии (или семейства близкородственных методов);

универсальные – эксплуатируют наиболее общие закономерности изменения изображения-containers в процессе встраивания и позволяют обнаруживать встроенное сообщение вне зависимости от использованного метода внедрения;

полу-универсальные методы позволяют обнаруживать сообщение, внедрённое с применением широкого диапазона методов стеганографии, но неэффективные в частных случаях, особых областях распределения и т. п.

Общей закономерностью является то, что эффективность специфичных методов выявления на области их «компетенции» оказывается выше, чем эффективность универсальных алгоритмов на той же области [21]. В дальнейшем в данной работе рассматриваются специфичные методы выявления.

Понятие статистического выявления связано с процессом вычисления характеристик высшего порядка анализируемого изображения, их анализа и определения отклонения их значений от стандартных [22]. Методы статистического выявления эксплуатируют тот факт, что характеристики высшего порядка большинства неподвижных изображений, имеющих одинаковую природу, близки или вовсе одинаковы. Несмотря на, как правило, высокую вычислительную сложность, методы статистического выявления демонстрируют высокую эффективность. В дальнейшем в данной работе рассматриваются методы статистического выявления.

Методы статистического выявления в пространственной области неподвижных цифровых изображений оценивают длину встроенного сообщения. Далее в зависимости от принятой пороговой длины, делается вывод об отнесении анализируемого стеганоcontainers к чистым контейнерам либо стеганопосылкам.

Требования, предъявляемые к методам выявления

В различных источниках приводятся следующие требования к методам статистического выявления [1, 6, 11, 12, 23]:

Эффективность. Алгоритм должен как можно с большей вероятностью корректно определять наличие или отсутствие внедрённого сообщения. Малый процент ошибочных определений часто рассматривается в качестве основного преимущества алгоритма статистического выявления.

Универсальность по форматам анализируемого изображения и методам внедрения сообщения. Алгоритм должен позволять обнаруживать внедрённое сообщение для как можно большего числа форматов изображений и методов внедрения. В наши дни большое количество форматов представления цифровых изображений, а также обилие и проработанность методов цифровой стеганографии делают это требование важным.

Максимальная независимость от содержательных характеристик анализируемого изображения. Алгоритм не должен демонстрировать значительного снижения эффективности при анализе изображений со специфичными областями, такими, как большие однородные области или, напротив, слишком зашумлённых изображений.

Вычислительная простота. Алгоритм должен справляться с задачей обнаружения встроенного сообщения за приемлемое время. Рост разрешений и количества изображений, передаваемых в сети Интернет и используемых в качестве контейнеров для стеганографии, сделал актуальной проблему «проклятия размерности» (Curse of dimensionality). Несмотря на то, что данное требование не относится к основным, в ряде работ такая характеристика алгоритма, как нечувствительность к «проклятию размерности» выставляется преимуществом алгоритма.

Устойчивость к модификациям методов внедрения. Алгоритм выявления должен эксплуатировать наиболее фундаментальные зависимости и характеристики процесса встраивания, чтобы оставаться робастным к незначительным модификациям метода встраивания.

Несмотря на то, что все приведённые требования могут быть учтены в задаче выбора оптимального метода выявления, именно эффективность является определяющим требованием. Под эффективностью метода выявления понимается способность  $\blacklozenge\blacklozenge$  достигать определённого процента корректных классификаций в задаче различения стеганопосылки и чистого сообщения.

Независимость от семантики анализируемого изображения подразумевает под собой способность показывать близкие значения эффективности при анализе изображений, содержащих определённые специфические области, например, однородный фон, или, напротив, сильно зашумлённые области. Под семантикой изображения понимается наличие и распределение в пространственной области изображения определённых областей, удовлетворяющих требованиям по характеру распределения значений яркости пикселей в них (семантических областей). Факт падения эффективности алгоритма при анализе изображений определённой семантики может быть использован для организации атаки на алгоритм за счёт использования только изображений, содержащих области, при анализе которых алгоритм показывает низкую эффективность. Таким образом, независимость от семантики анализируемого изображения является значимым требованием к методу выявления.

На основании анализа имеющихся публикаций сделан вывод о том, что наибольшую эффективность при анализе стеганопосылок, полученных при помощи определённого метода стеганографии показывают методы выявления, разработанные под этот конкретный метод встраивания. Иными словами, на сегодняшний день универсальные алгоритмы показывают меньшую эффективность для определённого отдельно взятого метода встраивания, чем методы выявления, разработанные конкретно для этого метода. То же верно для универсальности по форматам анализируемого изображения. Таким образом, сделан вывод что эффективность и универсальность по форматам и методам встраивания противоречат друг другу.

С учётом приведённых выше аргументов, в дальнейшем при выборе методов выявления для дальнейшего исследования и улучшения проводится по следующим критериям:

возможность обнаружения сообщения, встроенного методами LSB или LSBM, как наиболее распространённых методов встраивания в неподвижные цифровые изображения;

отсутствие «крайних случаев», для которых алгоритм демонстрирует значительно меньшую эффективность, чем заявлена авторами;

высокая или средняя эффективность по сравнению с аналогами для данного метода встраивания.

Выбор методов статистического выявления

Для оценки эффективности методов и предложения усовершенствований, требуется выбрать ряд методов, удовлетворяющих вышеприведённым критериям. Таблица 1 содержит методы, доступные из открытых источников, с приведением их сильных и слабых сторон.

По методам встраивания, на которые нацелен алгоритм, подходят Triples analysis, Chi-Square, RS-analysis, Sample pairs analysis, Weighted stego, HCF-COM, SPAM, Zhang-Cox, Difference Image Histogram, Zhang-Wang.

С учётом приведённых выше критериев, в дальнейшем будет проведён сравнительный анализ эффективности при различных параметрах изображений и различных значениях ОНК следующих методов:

Triples analysis;

Sample pairs analysis;

RS-analysis;

Weighted stego;

Difference Image Histogram;

Таблица 1

Методы выявления в пространственной области

Метод

На какой метод нацелен

Преимущества

Недостатки

1  
2  
3  
4

Triples Analysis [24]

LSB

Простота реализации, вычислительная простота

Малая эффективность

Chi-square [25]

LSB

Также эффективен в областях преобразования

Малая эффективность

RS-analysis [26]

LSB

Высокая эффективность при малых значениях полезной нагрузки

Эффективность зависит от применяемой маски

Sample pair analysis [27]

LSB

Высокая эффективность при больших и средних значениях полезной нагрузки

Малая эффективность при малых значениях полезной нагрузки

Weighted Stego [28]

LSB

Высокая эффективность на широком диапазоне значений полезной нагрузки

Высокая вычислительная сложность

HCF-COM [29]

LSB, LSBM

Простота реализации, хорошая эффективность на цветных изображениях

Очень низкая эффективность на изображениях в оттенках серого

Таблица 1 - окончание

SPAM [30]

LSB, LSBM

Не подвержен «

проклятию размерности»

Приемлемая эффективность только для больших значений полезной нагрузки

Zhang-Cox [31]

LSBM

Высокая эффективность

Только для изображений в оттенках серого

He-Huang (семейство алгоритмов) [32]

Методы стохастической модуляции

Не имеет альтернатив в анализе внедрения методами стохастической модуляции

Не работает для LSB, высокая эффективность только на ограниченных тестовых выборках

Niimi [33]

BPCS-методы

Высокая эффективность

Бесполезен при использовании LSB-методов встраивания, узкая направленность

Zhang-Wang [34]

Методы, основанные на предсказании ошибки

Также применим в LSB

Неприменим в LSBM

Difference Image Histogram [35]

LSB

Простота реализации, низкая вычислительная сложность

Методика оценки эффективности метода выявления

Понятие эффективности метода выявления

Для сравнения существующих методов выявления, а также для практического подтверждения предлагаемых усовершенствований требуется определить метод оценки эффективности статистического выявления, описать метод получения численной оценки эффективности. Поскольку эффективность как таковая – комплексная характеристика, разнящаяся в зависимости от многих параметров системы и анализируемых данных, требуется также определить метод наглядного представления эффективности метода выявления, позволяющий показать различия в эффективности тех или иных методов выявления без отсылки к объёмным таблицам числовых характеристик.

Метод статистического выявления в неподвижном цифровом изображении может быть рассмотрен с двух позиций:

Как инструмент оценки длины сообщения, встроенного в анализируемое изображение [36];

Как инструмент бинарной классификации, позволяющий отнести анализируемое изображение к стеганопосылкам или к чистым изображениям [37].

Эксперимент по оценке эффективности метода выявления

Эффективность метода выявления зависит не только от него самого, но и от характеристик данных, которые подвергаются анализу с его помощью. Для оценки эффективности требуется провести эксперимент, состоящий в выявлении сообщений в данных определённого набора исследуемым методом. На основании результатов эксперимента оценивается эффективность метода.

Следующий сценарий эксперимента используется в работе для определения эффективности метода выявления:

Подготавливается выборка изображений. В качестве выборок использованы наборы изображений коллекции BOWS2. Изображения в тестовой выборке независимы друг от друга.

Для части изображений имитируется стеганографическое встраивание в LSB. При этом, в зависимости от цели эксперимента, может соблюдаться постоянство величины ОНК либо длины встраиваемого сообщения.

Изображения тестовой выборки анализируются с помощью метода выявления.

Оценка длины встроенного сообщения либо факта наличия встраивания сличается с действительной длиной сообщения и фактом его наличия.

На основании результатов сличения строится статистика эффективности работы анализируемого метода выявления.

С учётом вышеизложенного, разработан алгоритм эксперимента по оценке эффективности метода выявления.

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 1.

Способы интерпретации результатов эксперимента по оценке эффективности метода выявления

В качестве метрики оценки эффективности метода как средства оценки длины встроенного сообщения, предлагается использовать среднюю ошибку прогноза длины сообщения в пикселях при анализе набора изображений:

$EL = 1NLa - LpN$ , где

N-число анализируемых последовательно изображений,

La-оцененная методом выявления длина встроенного сообщения,

Lp-действительная длина встроенного сообщения

Для оценки эффективности метода выявления как бинарного классификатора используется существующий математический аппарат математической статистики [38, 39]. Вводится понятие корректной и некорректной классификации:

Если стеганоконтейнер, являющийся стеганопосылкой, классифицирован как пустой стеганоконтейнер, либо, напротив, пустой контейнер классифицирован как стеганопосылка, это – некорректная классификация.

Если пустой контейнер либо стеганопосылка верно отнесены к классу пустых контейнеров и стеганопосылок соответственно, это – корректная классификация.

Также, для нужд дальнейшего анализа, вводятся более узкие понятия: ложноположительная и ложноотрицательная классификация [40]:

Если стеганопосылка классифицирована как пустой контейнер, это – ложноотрицательная классификация.

Если пустой контейнер классифицирован как стеганопосылка, это – ложноположительная классификация.

Понятие корректной классификации не нуждается в подобном разбиении на более мелкие подклассы.

События корректной и некорректной классификации составляют полное множество элементарных событий.

Таким образом, можно считать, что проводимые эксперименты удовлетворяют условию экспериментов Бернулли. Эффективность алгоритма в данном случае определяется как вероятность успешной классификации.

Вероятность успешной классификации определяется следующим образом:

$p = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{S}{N}$ , где

S – количество событий успешной классификации,

N – количество попыток классификации.

Очевидно, что бесконечное количество экспериментов недостижимо, таким образом, ставится задача выделения



тестовой выборки. Репрезентативность тестовой выборки определяется соответствием оценок вероятности успешной классификации на выборке и на всём множестве изображений.

Рисунок 1 – Алгоритм эксперимента по оценке эффективности метода выявления

На настоящий момент в литературе не приводится исчерпывающего обоснования минимального объёма выборки, необходимого для достижения репрезентативности. Кроме того, в зависимости от анализируемого алгоритма, размер может варьироваться. Единой методики выборки также не разработано. Задача выделения репрезентативной выборки сложна, и обобщения её на всё множество методов выявления не существует [41]. В работе в дальнейшем применяются выборки различного объёма, в зависимости от конкретной рассматриваемой задачи оценки. Минимальное количество изображений в выборке – 1000. Качество и взаимная независимость характеристик изображений в выборке также имеет значение. В дальнейшем в работе используются выборки изображений из коллекций: BOWS2 [42], BOSS [43], eTrim [44], Places [45] и UCID [46], неоднократно применявшихся в исследованиях в областях стеганографии и цифровых водяных знаков [30, 46 - 49].

Алгоритмы выявления находят практическое применение в обнаружении сообщений, скрытых методами стеганографии, при их передаче в реальных сетях связи настоящими пользователями. Разумеется, проводить исследование с использованием каналов передачи данных с агентами-людьми не представляется возможным – количество попыток анализа слишком велико, чтобы проводить работу вручную. Для проведения экспериментов в рамках исследования решалась задача симуляции стеганоканала и основных агентов.

Три основных участника моделируемого эксперимента: отправитель, получатель и перехватчик. Отправитель формирует стеганопосылки и посылает их посредством канала передачи данных получателю. Получатель получает стеганопосылки и извлекает содержащиеся в них сообщения. Перехватчик играет роль пассивного наблюдателя, анализируя документы, идущие от отправителя к получателю, пытаясь определить, какие из документов – стеганопосылки, а какие – пустые контейнеры.

В реальной стеганографической системе агент-отправитель, руководствуясь собственной логикой, выбирает из доступного ему множества изображений контейнеров определённую выборку. Над каждым изображением выборки отправитель проводит операцию внедрения сообщения, которое также выбирается из доступного набора или синтезируется отправителем. Далее отправитель посылает стеганопосылки наряду с пустыми контейнерами получателю. При этом в реальной системе логика выбора отправителем контейнеров и сообщений неизвестна получателю и перехватчику.

Для симуляции системы, описанной выше, в работе используется метод Монте-Карло, широко применимый в задачах определения статистических вероятностей ошибок [41]. Суть метода состоит в генерации псевдослучайных выборок и сообщений, имитирующих неизвестную перехватчику логику отправителя.

Псевдослучайным образом из доступного множества изображений формируется тестовая выборка. Отправитель, получая изображение из выборки, в соответствии с принятым решением либо встраивает при помощи стеганосистемы получаемое сообщение, формируя стеганопосылку, либо оставляет контейнер пустым. Контейнер или стеганопосылка отправляются перехватчику, который проводит анализ, производя классификацию полученного изображения как стеганопосылки или пустого контейнера. Получатель присутствует в системе номинально, не принимая участия в эксперименте. Результат классификации перехватчиком отправляется в блок сравнения, где сравнивается с подлинной классификацией. Совпадение означает корректную классификацию. Несовпадение означает ошибку классификации. Описанный процесс повторяется для каждого сообщения из тестовой выборки.

Таким образом, 3 источника данных для системы формируются псевдослучайным образом: тестовая выборка изображений-контейнеров, сообщения и решение о внедрении сообщения в текущий контейнер. Алгоритм внедрения является атрибутом отправителя и постоянен в рамках эксперимента.

Итоговый результат эксперимента – количество успешных и неуспешных классификаций. Тем не менее, подобная оценка не сообщает всех необходимых сведений о реальной практической эффективности алгоритма выявления, лежащего в основе системы [41].

Причина этого в том, что ошибки бинарного классификатора различаются по своей сути. Классифицируемое изображение может принадлежать к одному из двух подмножеств выборки: стеганопосылкам или пустым контейнерам. Результат классификации алгоритма также относит анализируемое изображение к одному из двух этих классов. Варианты реального исхода анализа иллюстрирует матрица сопряжённости, представленная на рисунке 2.

Правая верхняя и левая нижняя ячейки матрицы на рисунке 2 соответствуют ошибочным классификациям. Суммарная вероятность ложной положительной и ложной отрицательной классификации даст вероятность ошибочной классификации. Тем не менее, при оценке реальной эффективности алгоритма выявления следует учитывать перекося выборки.

Подлинная классификация

Результат анализа

Стеганопосылка  
Пустой контейнер  
Стеганопосылка  
Пустой контейнер  
Верный  
положительный  
Верный  
отрицательный  
Ложный положительный  
Ложный отрицательный  
Подлинная классификация  
Результат анализа  
Стеганопосылка  
Пустой контейнер  
Стеганопосылка  
Пустой контейнер  
Верный  
положительный  
Верный  
отрицательный  
Ложный положительный  
Ложный отрицательный

Рисунок 2 - Матрица сопряжённости результатов выявления

Под перекосом выборки понимается разница вероятностей того, что случайно взятое из выборки изображение окажется стеганопосылкой или чистым контейнером. С учётом перекоса выборки, суммарная вероятность ошибки классификации оценивается по следующей формуле:

$$P_e = P_{FP} \cdot P_{I \in C} + P_{FN} \cdot P_{I \in S}$$

где:

$P_{FP}$  - вероятность ложной положительной (false positive) классификации;

$P_{FN}$  - вероятность ложной отрицательной (false negative) классификации;

$I$  - классифицируемое изображение;

$C$  - подмножество изображений – пустых контейнеров;

$S$  - подмножество изображений – стеганопосылок.

В математической статистике в ситуациях, когда перекоз выборки неизвестен, часто принимается предположение, что он равен нулю [41]. Тем не менее, при рассмотрении стеганоканала, такое предположение может оказать существенное влияние на интерпретацию результата эксперимента и стать причиной ошибки [40]. Таким образом, в задачах оценки эффективности алгоритма выявления вероятности ложной положительной и ложной отрицательной классификации следует рассматривать независимо друг от друга.

Способы представления результатов оценки эффективности метода выявления

Как отмечалось ранее, алгоритмы статистического выявления в процессе работы вычисляют некоторую оценку потенциального искажения, внесённого в анализируемый документ в процессе встраивания стеганопосылки. Для того, чтобы от этой оценки перейти к непосредственно классификации, вводится понятия порога классификации. Порог представляет собой величину, соответствующую такому значению числовой оценки внесённого искажения, при превышении которого анализируемое изображение считается стеганопосылкой. Очевидно, что для классификатора вероятности ложной положительной и ложной отрицательной классификации связаны через величину порога. Так как выбор порога во многом зависит от ситуации, в которой используется классификатор, для оценки его собственной эффективности требуется ввести независимую метрику, позволяющую наглядно сравнивать классификаторы по эффективности между собой.

В качестве такой метрики взята кривая доверительных интервалов (ROC curve). Кривая ROC выражает зависимость между вероятностью корректной классификации и вероятностью ложной положительной классификации [38]. Пример кривых доверительных интервалов двух абстрактных методов выявления приведён на рисунке 3.

По оси абсцисс откладывается вероятность ложной положительной классификации, а по оси ординат – значение  $1 - P_{FN}$ , где  $P_{FN}$  - вероятность ложной отрицательной классификации. Координаты точки на кривой выражают вероятности ложной положительной и корректной классификации при определённом значении порога классификации. График, построенный в таких осях позволяет оценить эффективность классификации при варьировании порога классификации. Чем ближе к осям проходит кривая графика доверительных интервалов,

тем выше эффективность классификатора. В примере, приведённом на рисунке 3, эффективность классификатора, соответствующего кривой 1 выше эффективности классификатора, соответствующего кривой 2.

В дальнейшем кривые доверительных интервалов будут использованы для наглядной демонстрации при сравнении эффективности алгоритмов выявления.

В качестве численной оценки эффективности при этом используется значение вероятности ложноположительной классификации при определённом значении вероятности корректной классификации. В работе используется значение корректной классификации 95%.

Численные оценки приводятся в виде таблиц, демонстрирующих значения численных оценок эффективности в зависимости от характеристик анализируемого изображения и используемых методов выявления и их улучшений.

1  
2  
1  
2

Рисунок 3 - Кривые доверительных интервалов

Связь эффективности выявления с защищённостью информации

В системе защиты информации, включающей в себя подсистему пассивного противодействия каналам передачи данных на основе стеганографии, связь понятия защищённости информации с эффективностью метода выявления, используемого в подсистеме пассивного противодействия, осуществляется через понятие риска утечки информации по такому каналу.

Для данной угрозы, по общей формуле, риск оценивается следующим образом [50]:

$$R = (P_{\text{реал}} - P_{\text{прот}}) * U = P_{\text{реал}} - P_{\text{сп}} * U, \text{ где}$$

R – риск, P<sub>реал</sub> – вероятность реализации угрозы, P<sub>прот</sub> – вероятность противодействия угрозе с использованием средств защиты информации, U – ущерб от реализации угрозы, P<sub>сп</sub> – вероятность противодействия с использованием конкретного средства защиты информации.

Рассматриваемое средство пассивного противодействия каналу передачи информации является одним из средств защиты информации. Вероятность корректного обнаружения встроенного сообщения определяет эффективность средства пассивного противодействия каналу передачи информации. Поскольку эффективность выявления напрямую влияет на вероятность обнаружения угрозы, эффективность является основополагающей характеристикой при выборе метода выявления.

Таким образом, повышение эффективности выявления ведёт к снижению вероятности реализации угрозы утечки информации по каналу связи на основе стеганографии, и, в конечном итоге, к снижению риска этой угрозы. Снижение риска, в свою очередь, повышает защищённость информации [51].

Исходя из этого, именно эффективность метода выявления, напрямую влияя на защищённость информации, является основополагающей характеристикой метода выявления.

Выводы

Встраивание в пространственную область неподвижных цифровых изображений – распространённый и используемый на практике метод стеганографии, требующий разработки соответствующих методов выявления.

Встраивание в область наименьших значащих бит неподвижных цифровых изображений – распространённый метод встраивания в пространственную область неподвижных цифровых изображений, характеризующийся большим объёмом контейнера и высокой скрытностью как для наблюдателя, так и для методов статистического выявления.

Методы статистического выявления широко применяются при противодействии стеганографии, основанной на встраивании в пространственную область неподвижных цифровых изображений.

Эффективность метода статистического выявления неподвижного цифрового изображения вне задачи бинарной классификации может быть определена как среднее по выборке отклонение спрогнозированной длины встроенного сообщения от реальной длины.

Эффективность метода статистического выявления неподвижного цифрового изображения в задаче бинарной классификации может быть определена как процент некорректной классификации при заданном значении ожидаемого процента корректной классификации.

Графически и наглядно эффективность метода выявления неподвижного цифрового изображения может быть представлена в виде кривой доверительных интервалов.

Повышение эффективности выявления ведёт к снижению риска реализации угрозы утечки информации по каналу передачи данных на основе стеганографии, при использовании метода выявления в системе пассивного противодействия такому каналу передачи. Таким образом, эффективность метода выявления является его основополагающей характеристикой.

Зависимость объёма контейнера при встраивании в пространственную область цифрового изображения от разрешения изображения на фоне роста средних разрешений изображений, передаваемых в сети, делает актуальной задачу выявления на малых значениях ОНК.

Наиболее перспективными в задачах выявления неподвижных цифровых изображений в пространственной области являются методы Triples analysis, Sample pairs analysis, RS-analysis, Weighted stego, Difference Image Histogram.

#### ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ И ЕЁ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТЕЙНЕРА

Пространственная область и встраивание в LSB

Характеристики пространственной области изображения как стеганоcontainers

Неподвижное цифровое изображение представляется как набор матриц пикселей, каждая из которых соответствует определённому цветовому слою изображения. Их количество варьируется в зависимости от выбранной модели представления изображения [52].

Одна из наиболее распространённых моделей представления цветного изображения – RGB, манипулирует тремя цветовыми слоями, соответствующими красному, зелёному и синему цвету соответственно. В дальнейшем в работе цветное изображение как стеганоcontainers будет рассматриваться в контексте цветовой модели RGB. В случае монохромного изображения его пространственное распределение представляет собой одну матрицу. Рисунок 4 иллюстрирует представление монохромного изображения в пространственном распределении [53].

Пиксель – наименьший элемент цветового слоя пространственного распределения изображения, представляет собой целое неотрицательное число, обозначающее яркость участка изображения, соответствующего этому пикселю. В зависимости от точности представления уровня яркости (глубины цвета), максимальное значение пикселя может варьироваться.

Пусть  $I$  – изображение, анализируемое методом выявления,  $p$  – цветовая плоскость, а  $x, y$  – координаты пикселя в данной цветовой плоскости. Тогда  $I_p$  – матрица пространственного распределения изображения в цветовой плоскости,  $I_p(x, y)$  – операция взятия значения пикселя с данными координатами в данной цветовой плоскости. В случае, если изображение монохромное, единственная цветовая плоскость подразумевается неявно, её обозначение опускается, операция взятия значения пикселя записывается следующим образом:  $I(x, y)$ . Цветовые плоскости модели RGB обозначаются  $I_r, I_g, I_b$  для красного, зелёного и синего соответственно.

Рисунок 4 - Монохромное изображение в пространственном распределении

Каждый пиксель изображения можно представить в двоичном виде, переведя его значение в систему счисления. В этом случае значение пикселя представляется набором бит, где младший разряд соответствует наименьшему значащему биту числа. В общем случае определим взятие  $n$ -го бита двоичного представления пикселя как  $I_x, y_n$ , для наименьшего значащего бита, вне зависимости от номера его разряда, операцию взятия определим как  $I_x, y_L$ .

В задаче стеганографического встраивания в LSB пикселя, имеет значение максимальное количество двоичных разрядов числа, представляющего пиксель. Встраивание в LSB эксплуатирует избыточность пространственного распределения изображения, следовательно, чем более длинным является побитовое представление пикселя, тем более объёмным становится контейнер для стеганографического встраивания [54].

В дальнейшем в работе будет рассмотрена модель, ограничивающее значение пикселя числом 255. Это соответствует 256 уникальным значениям уровня яркости и 8 двоичным разрядам числа. Встраивание в LSB, таким образом, оперирует восьмым, младшим разрядом. Выбор этой модели обусловлен её широкой распространённостью. Также, выбранная модель характеризуется минимальной среди общепотребимых длиной пикселя в битах, что позволяет рассмотреть крайний, наиболее применимый случай противодействия стеганографическому встраиванию, когда модифицируется лишь наиболее младший значащий бит изображения. С точки зрения стеганографического контейнера, пространственное распределение изображения представляет области для встраивания сообщений, выраженных в разных форматах. Встраивание в LSB, при этом, ограничивает объём информации на 1 пиксель одним битом, следовательно, встраиваемое сообщение при этом представляется в виде битовой строки.

При этом, фактически, в качестве стеганоcontainers выступает плоскость наименьших значащих бит матрицы распределения цветового слоя, с которым работает метод встраивания. Совокупный контейнер при этом – набор плоскостей наименьших значащих бит пространственных распределений всех цветовых слоёв изображения [55].

Распределение значений пикселей в изображении определяется тем, что содержится в изображении. Искусственные изображения, полученные путём рисунка, либо сгенерированные при помощи определённых алгоритмов (например, фрактальные изображения), вносят закономерности в распределение значений (к примеру, рисунки могут содержать обширные области, в которых значения пикселей не меняются).

В противовес искусственным изображениям вводится понятие естественного цифрового изображения. Под естественным цифровым изображением понимается изображение, полученное путём фотографии объектов

окружающего мира, позже оцифрованные методом, сохраняющим характер распределения значений яркости на любом отдельно взятом участке изображения.

Естественные изображения характеризуются высокой степенью случайности распределения значений пикселей, равно как и значений в определённых битовых плоскостях [56, 70]. Это делает естественные изображения практически применимым контейнером для стеганографического встраивания в пространственную область [57]. Далее в работе под изображениями-контейнерами понимаются естественные изображения.

В отличие от частотного распределения изображения, полученного дискретным преобразованием Фурье или вейвлет-преобразованием, пространственное распределение естественного изображения в высокой степени случайно [58]:

Значения пикселей в той или иной области изображения полностью зависят от высокоуровневой семантики изображения, определяемой, в свою очередь, тем, что на изображении запечатлено. Следовательно, для набора независимых изображений распределение значений пикселей в пространственной области случайно.

Распределение значений в плоскости наименьших значащих бит случайно в рамках одного отдельно взятого изображения в следствие сильного влияния на значения в этой плоскости даже небольших колебаний яркости пикселей изображения. Рисунок 5 показывает пример монохромного изображения и его плоскости наименьших значащих бит. Для иллюстрации плоскости наименьших значащих бит значение 1 соответствует белому пикселю, значение 0 – чёрному.

Рисунок 5 - Монохромное изображение и его плоскость наименьших значащих бит

Высокая случайность распределения значений в области наименьшего значащего бита изображения обуславливает высокую популярность и эффективность методов встраивания, основанных на модификации наименьшего значащего бита – детектирование факта встраивания битовой строки с условно случайным распределением в область случайного распределения величин является нетривиальной задачей [59].

Метод встраивания в плоскость LSB изображения

Несмотря на случайный или почти случайных характер распределения значений как в плоскости наименьших значащих бит контейнера, так и во встраиваемом сообщении, характер распределения может отличаться. Визуально искажения, вносимые встраиванием в плоскость наименьших значащих бит изображения иллюстрирует рисунок 6. В эксперименте левая половина изображения подверглась встраиванию с ОНК 100% для модифицированного участка изображения (таким образом, каждый бит плоскости был заменён на бит сообщения). Видно, что характер распределения значений изменился.

Статистические методы выявления с высокой эффективностью определяют факт наличия встраивания на таких значениях ОНК.

Рисунок 6 - Визуальный эффект от встраивания в плоскость наименьшего значащего бита изображения

На практике изменению подвергаются значительно меньшие объёмы бит изображения. Поскольку плоскость НЗБ сама по себе характеризуется большим объёмом как контейнера для стеганографического встраивания, обычно изменяются единицы процентов бит, что уже позволяет использовать метод для организации канала скрытной передачи информации. Со снижением значения ОНК «заметность» факта встраивания для статистических алгоритмов выявления падает.

Встраивание в плоскость наименьшего значащего бита изображения не соответствует определённому методу встраивания, определяя семейство методов, использующих один и тот же принцип.

Пусть монохромное изображение  $I$  подвергается стеганографическому встраиванию в плоскость наименьших значащих бит. Встраивается сообщение  $M$ , представленное в виде битовой строки длиной  $L$ . В таком случае операция взятия бита на позиции  $i$  в изображении  $M$  обозначается  $M(i)$ . Единичная операция встраивания бита изображения при этом описывается так:

$$I_x, y_L = M_i;$$

Метод встраивания в LSB определяет порядок и условия применения единичной операции к пикселям изображения-контейнера.

Простейший метод – метод последовательного встраивания в LSB, определяет начальные координаты  $x_s, y_s$ , с которых начинается встраивание. Далее, для каждого следующего пикселя изображения, слева направо и с переносом на следующий ряд пикселей по окончании текущего, производится единичная операция встраивания. Для последующего извлечения сообщения необходимо знать начальную позицию.

Метод рассеянного встраивания определяет функцию выбора пикселя контейнера для  $i$ -го бита встраиваемого сообщения:

$$x_i, y_i = F(i)$$

Для последующего извлечения сообщения необходимо знать функцию.

Более сложные методы встраивания в LSB эксплуатируют значения других плоскостей изображения, например, плоскости, следующей за плоскостью LSB.

Метод последовательного встраивания, несмотря на простоту, широко используется на практике, позволяя

добиться высокой скрытности, совмещая её с простотой выполнения и минимумом передаваемых дополнительных данных. В случае, если характер встроенного сообщения известен стороне приёмнику либо может быть детектирован автоматически (например, с помощью алгоритмов контроля целостности), метод может быть использован вообще без передаваемых дополнительных данных – извлечение сообщения может быть проведено путём перебора вариантов начальных координат на стороне-приёмнике [60]. В дальнейшем в работе в эксперименте, описанном в п. 1.3.2. будет использоваться метод последовательного LSB-встраивания.

Блок-схема алгоритма встраивания приведена на рисунке 7.

Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма встраивания в LSB

Чтобы исключить влияние начальной позиции на эффективность исследуемого метода выявления, начальная позиция выбирается псевдослучайным образом для каждого изображения.

Координаты следующего пикселя (xp, yp) берутся следующим образом:

Если в текущем ряду есть пиксель справа от данного, его координата берётся следующей: xp, yp=(x+1, y);

Если в текущем ряду нет пикселя справа от данного, но есть пиксель снизу от данного, берётся первый пикселя ряда непосредственно ниже данного: xp, yp=(1, y+1);

Если в текущем ряду нет пикселя справа от данного и нет пикселя снизу от данного, берётся первый пиксель первого ряда: xp, yp=(1, 1).

Таким образом, встраивание происходит по рядам слева направо сверху вниз, с переходом к первому элементу матрицы по достижению последнего, в случае необходимости. В этом случае, сообщение всегда может быть полностью встроено в изображение, если только его длина не превышает количества пикселей изображения.

Искажения, вносимые встраиванием в плоскость LSB изображения и модель их детектирования

Значение наименьшего значащего бита изображения, равно как и значение бита сообщения, может принимать одно из двух значений: 0 или 1.

Таким образом, единичная операция встраивания в LSB пикселя изображения оставляет его наименьший значащий бит неизменным, если бит сообщения равняется наименьшему значащему биту пикселя, либо меняет его на противоположный. Определим операцию смены бита на противоположный:

$I_x, y_L=0, I_{x,y_L}=1, I_x, y_L=0;$

Тогда единичную операцию встраивания описывает уравнение:

$I'_x, y_L=I_x, y_L, I_{x,y_L}=M(i)I_x, y_L, I_x, y_L \neq M(i);$

Изменение наименьшего значащего бита приводит к изменению значения пикселя в целом. Поскольку бит является разрядом двоичного представления значения пикселя, а наименьший значащий бит соответствует разряду единиц, единичная операция встраивания изменяет значение пикселя сообщения следующим образом:

$I'(x,y)=I_x, y, I_{x,y_L}=M(i)I_x, y \pm 1, I_x, y_L \neq M(i);$

Таким образом, встраивание в плоскость LSB изображения приводит к изменению ряда значений пикселей на 1 в большую или меньшую сторону, либо оставляет значение неизменным [61].

Встраивание в плоскости старше наименьшей значащей приводит к изменениям в разрядах старше самого младшего. Поскольку в двоичной системе счисления значение по разрядам растёт со степенной зависимостью с основанием степени 2, с той же зависимостью растёт величина искажений, вносимых в контейнер. Высокие темпы роста величины искажений определяет практическую значимость встраивания именно в плоскость наименьших значащих бит.

Методы выявления, направленные на детектирование факта встраивания в плоскость наименьших значащих бит изображения основывают свою работу на определении подобных аномальных для изображения изменений значений пикселей на 1, либо непосредственно (Weighted Stego image, RS-analysis), либо через анализ статистик высшего порядка, чувствительных к подобным изменениям (Sample Pairs analysis, Difference Image Histogram).

Выявление сводится к подсчёту аномальных участков, включающих пиксели с изменёнными значениями. Поскольку встраивание может не изменить значение пикселя в случае совпадения его наименьшего значащего бита с битом встраиваемого сообщения, простой подсчёт количества аномальных участков вносит ошибку в прогноз длины встроенного сообщения.

Исходя из предположения о случайном распределении значений в плоскости наименьшего значащего бита и в сообщении, предполагается, что встраивание изменяет половину подвергшихся обработке битов. Таким образом, итоговое значение подсчёта умножается на 2.

Рисунок 8 иллюстрирует блок-схему общего вида метода выявления факта встраивания в область наименьшего значащего бита изображения. Общий вид не обязательно соответствует конкретному алгоритму реализации любого взятого метода выявления, отражая общее направление работы метода.

Рисунок 8 - Блок-схема общего алгоритма выявления факта встраивания в плоскость LSB

Возможности современных методов выявления в плоскости LSB изображений

Понятие отношение нагрузка-контейнер для встраивания в плоскость LSB изображения

Эффективность методов выявления зависит от масштаба модификаций, вносимых в изображение-контейнер. Поэтому возможности современных методов выявления следует рассматривать в контексте конкретных значений объёмов встраивания. Абсолютные значения, выраженные длиной сообщения в битах, неприменимы: широкий разброс разрешений изображений-контейнеров приводит к тому, что сообщение одной и той же длины может оказывать разное влияние на большие и маленькие изображения.

Вводится понятие отношение нагрузка-контейнер (ОНК), позволяющее оценить нормированную по размеру контейнера степень масштаба внесения искажений, вызванных стеганографическим встраиванием.

Для встраивания в LSB значение ОНК имеет смысл определить, как отношение максимального количества элементов, подходящих для изменения при встраивании, к фактическому количеству изменённых элементов.

При этом:

при встраивании изменяется один бит одного пикселя изображения, при этом разряд бита фиксирован;

количество вносимых изменений равно длине встраиваемого сообщения в битах;

общее количество элементов, подходящих для изменения соответствует общему количеству пикселей всех цветовых слоёв изображения-контейнера;

если изображение цветное, встраивание производится во все цветовые слои изображения-контейнера;

цветовые слои изображения обладают одинаковыми размерами, совпадающими с размерами изображения в пикселях.

С учётом приведённых утверждений, для цветного изображения значение ОНК определяется следующим образом:

$P = LZAB$ , где

L – длина встраиваемого сообщения,

A, B – размеры изображения-контейнера по каждому измерению.

Для монохромного изображения формула схожая, с поправкой на количество цветовых слоёв:

$P = LAB$ .

Формулы не содержат поправки на то, что в среднем половина пикселей не изменяются при встраивании. Это допущение оставлено специально, поскольку в контексте данной работы величина ОНК рассчитывается специально для соотнесения с эффективностью методов выявления, которые уже закладывают множитель 2 в формулы оценки длины встроенного сообщения, как показано в п. 2.1.3.

Для удобства, в дальнейшем в работе значение ОНК выражается в процентах. По определению, длина сообщения не может быть больше, чем количество пикселей в изображении, поэтому значение ОНК лежит в интервале от 0 до 100%.

Условия проведения эксперимента

Для оценки возможностей современных алгоритмов выявления, отобранных в п. 1.2.3, проводится эксперимент в соответствие с алгоритмом, описанным в п. 1.3.2.

Условия проведения эксперимента следующие:

тестовая выборка представляет собой набор изображений, случайным образом отобранных из используемых коллекций изображений;

количество изображений в выборке: 39000;

минимальное разрешение изображений: 392x550 пикселей;

максимальное разрешение изображений: 5100x4025 пикселей;

количество цветовых плоскостей: 1 (изображения монохромные)

встраивание в LSB последовательное, по алгоритму, описанному в п. 2.1.2.

встраиванию подвергается половина изображений, входящих в выборку;

результаты усреднены для выборки.

Результаты оценки эффективности современных методов анализа в плоскости LSB

Оценена эффективность алгоритмов на значениях ОНК 1, 3 и 5%. Кривые доверительных интервалов приведены на рисунке 9. Кривые построены в соответствие с методом оценки Монте-Карло, описанным в п. 1.3.3.

Расшифровка обозначений на рисунке 9:

DIH – метод Difference Image Histogram

WSI – метод Weighted Stego Image

SP – метод Sample Pairs analysis

RS – метод RS-analysis

TR – метод Triples analysis

Из графиков на рисунке 9 видно, что эффективность современных методов статистического выявления на малых значениях отношения нагрузка-контейнер (ОНК) характеризуется большой долей ложноположительной классификации при доле корректного срабатывания 95%. Сделан вывод о необходимости усовершенствования



существующих методов выявления. Также из графиков видно, что вне зависимости от значения ОНК, наибольшую эффективность демонстрирует метод выявления Weighted Stego (WS). В дальнейшем в работе рассматриваются методы увеличения эффективности выявления методом WS.

Рисунок 9 - Кривые доверительных интервалов для современных методов выявления

Низкая эффективность современных методов выявления в плоскости наименьшего значащего бита подтверждает практическую применимость методов встраивания в LSB и обосновывает актуальность задачи повышения эффективности методов выявления в изображениях в области наименьшего значащего бита [9].

Следует отметить, что в эксперименте использовался самый простой из описанных в открытых источниках метод встраивания в плоскость наименьшего значащего бита. Тем не менее, его использование позволяет добиться высокой степени скрытности встроенного сообщения: на значении ОНК 1% результат работы всех представленных методов мало отличим от угадывания.

Тем не менее, к примеру, при разрешении изображения, соответствующем распространённому разрешению современных дисплеев 1920x1080 пикселей, ОНК 1% соответствует 62,2 Кб встраиваемой информации (для цветного изображения в формате RGB).

Также из графиков видно, что среди исследуемых методов, вне зависимости от объёма встраивания, наилучшую эффективность демонстрирует метод Weighted Stego Image (далее – WS). Далее в работе рассматриваются методы увеличения эффективности выявления методом WS [10].

Зависимость эффективности выявления в плоскости LSB от характеристик изображения

Значимые характеристики изображения

Для определения направлений работы по увеличению эффективности выявления требуется определить, каким образом характеристики анализируемых изображений влияют на эффективность выявления.

Методы выявления в плоскости наименьших значащих бит базируют свою работу на определении аномальных изменений значений пикселей. При этом, аномальность значения оценивается по отношению к другим значениям окружающих пикселей, либо к значениям характеристик высшего порядка, вычисленных на других областях анализируемого изображения.

Пространственная область изображения не вносит глобальных закономерностей в распределение пикселей. В локальных, ограниченных небольшим пространством областях, закономерности могут проявляться. Из этого очевидно, что значения, собранные с соседних по отношению к анализируемому пикселей, имеют большее значение для оценки значения текущего пикселя [62, 63].

Следовательно, на эффективность анализа может влиять характер распределения значений пикселей по отношению друг к другу в небольших, локальных областях изображения, соответствующих одному объекту или области окружающего мира, запечатлённому на естественном изображении. Очевидно, что с ростом разрешения изображения размер таких областей в пикселях увеличивается.

Также, плоскость наименьшего значащего бита в большой степени соответствует шуму, присутствующему на изображении, и в большой степени подвержена изменению при внесении шума.

Наконец, предположение о схожести различных цветовых слоёв изображения с точки зрения эффективности выявления в них, нуждается в практическом подтверждении или опровержении для рассматриваемых методов выявления.

Исходя из приведённого выше, следующие характеристики изображения подлежат исследованию на предмет влияния на эффективность выявления:

разрешение изображения;

цветовая плоскость, монохромность изображения;

наличие фильтрации, вносящей шум, перед встраиванием;

присутствие обширных фоновых областей в изображении.

Зависимость эффективности выявления от разрешения изображения

Зависимость эффективности статистического выявления неподвижного цифрового изображения от его разрешения отмечалась во многих работах. Наблюдается тенденция роста эффективности выявления с ростом разрешения изображения при неизменном значении ОНК.

Актуальность задачи повышения эффективности выявления на малых значениях ОНК обусловлена, прежде всего, постоянным ростом разрешения изображений, передаваемых в сети интернет. Рост эффективности выявления при росте разрешения потенциально способен нивелировать проблему низкой эффективности анализа в случае, когда малое значение ОНК обусловлено именно большим объёмом стеганоконтейнера, а не малым объёмом встраиваемого сообщения. Тем не менее, это предположение нуждается в экспериментальном подтверждении или опровержении.

Прежде всего, исследовано, подвержен ли метод выявления WS эффекту повышения эффективности при росте размера изображения-контейнера.

Эксперимент проведён по следующему сценарию:

опытным путём установлен фиксированный объём  $f$  встраиваемого сообщения, позволяющих получить показательные результаты на большом интервале разрешений изображения-контейнера; отобран тестовый набор изображений контейнеров разных разрешений; для изображений из набора оценена эффективность выявления для метода WS при встраивании сообщения объёмом  $f$  (встраивание проводилось методом, описанным в п. 2.1.3); построен график зависимости эффективности выявления от разрешения изображения для каждого алгоритма (для наглядности графики построены в одних осях).

Количественные характеристики проводимого эксперимента следующие:

фиксированный объём встраиваемого сообщения  $f=6400$  бит;

разрешение изображений в диапазоне от  $200 \times 200$  до  $2000 \times 2000$  пикселей (изображения квадратные), выборки формируются с шагом 100 пикселей;

размер каждой выборки – 1000 изображений;

цветовая модель изображений – RGB, встраивание производится в случайно выбранный цветовой слой, каждая стеганопосылка полностью несёт сообщение в одном из своих цветовых слоёв;

встраивание LSB, последовательное, стартовый пиксель выбирается псевдослучайным образом с равномерным характером распределения стартовой позиции в рамках каждой выборки фиксированного разрешения;

для построения зависимости эффективности выявления от разрешения взяты значения вероятности ПЛС при вероятности верного обнаружения 95%;

для случая, когда вероятность верного обнаружения 95% недостижима, вероятность ПЛС принята равной 100%.

Для демонстрации экспериментального подтверждения факта роста эффективности выявления при увеличивающимся разрешении в одних осях были построены две кривые:

зависимость эффективности от разрешения при фиксированном объёме сообщения и растущем разрешении изображения;

зависимость эффективности от полезной нагрузки при постоянном разрешении и с условием, что полезная нагрузка уменьшается в процентном отношении так же, как и при росте разрешения для первой кривой.

Рисунок 10 иллюстрирует полученный результат.

Рисунок 10 - Эффективность выявления при росте разрешения и при постоянном разрешении изображения-контейнера

Из графиков на рисунке 10 видно, что рост разрешения действительно приводит к увеличению эффективности выявления методом WS – при росте разрешений доля ложноположительной классификации растёт медленнее, чем при постоянном разрешении.

Общий рост доли ложноположительных срабатываний в данном случае обусловлен снижением значения ОНК в обоих случаях.

Следующий эксперимент ставит целью показать, что, несмотря на рост эффективности выявления при росте разрешения анализируемого изображения, общее падение эффективности преобладает именно за счёт малых значений ОНК при встраивании сообщения постоянной длины в стеганоконтейнер с увеличивающимся разрешением.

Предположение следует подтвердить для всех исследуемых алгоритмов для подтверждения или опровержения факта того, что ни один из рассматриваемых алгоритмов не проявляет преимуществ в эффективности именно при анализе стеганоконтейнеров больших разрешений.

Эксперимент проведён по следующему сценарию:

Исходная тестовая выборка изображений разделена на подвыборки по разрешениям, от малых к большим.

Всего сформировано 10 подвыборок, разрешение наименьшей:  $200 \times 200$  пикселей, наибольшей:  $2000 \times 2000$  пикселей. Таким образом, размер стеганоконтейнера варьируется от  $4 * 104$  до  $4 * 106$  бит.

Для каждой подвыборки отдельно оценена эффективность выявления по методу, описанному в Главе I. Получены численные оценки эффективности.

Встраивание производилось по методу, описанному в п. 2.1.3.

Длина встраиваемого сообщения постоянна и составляет 6400 бит.

Графики на рисунке 11 иллюстрируют полученный результат. Видно, что доля ложноположительных классификаций растёт при росте разрешения изображений, это выполняется для всех исследуемых методов выявления. Таким образом, подтверждено, что рост эффективности при росте разрешения изображения неспособен компенсировать падение эффективности от уменьшения значения ОНК при постоянной длине встраиваемого сообщения.

Более того, видно, что на всех разрешениях алгоритм WS показывает наименьшую долю ложноположительных классификаций.

Таким образом, подтверждена актуальность задачи увеличения эффективности выявления методом WS на малых значениях ОНК.

## Рисунок 11 - Зависимость доли ЛПК от значения ОНК

Зависимость эффективности выявления от предварительной фильтрации стеганоконтейнера

Естественные изображения зачастую подвергаются различным модификациям в ходе своего жизненного цикла. Обработка, ретуширование, зашумление, применяемые к естественному изображению, могут влиять на его характеристики как стеганоконтейнера [64]. Значительное падение или увеличение эффективности выявления в контейнере, предварительно обработанного тем или иным фильтром, может указать направление для усовершенствования метода.

Для оценки результатов влияния предварительной фильтрации изображения-контейнера проведён эксперимент по следующему сценарию:

Набрана исходная выборка изображений, объём выборки – 6000 изображений. Изображения в выборке максимально независимы друг от друга и обладают широким спектром значений характеристик зашумлённости и контурности для исключения влияния собственных характеристик изображений на результаты эксперимента.

Изображения тестовой выборки могли уже подвергаться фильтровым искажениям до начала эксперимента. Для устранения потенциального влияния этого факта на результат эксперимента, тестовая выборка разбита на три подвыборки. Подвыборка 1 содержит изображения разрешением 640 на 480 пикселей, снятые в формате PNG. Подвыборка 2 содержит изображения такого же разрешения и формата, конвертированные из цветных изображений формата JPG. Подвыборка 3 содержит изображения формата PNG, конвертированные из цветных изображений формата JPG, разрешением 800 на 600 пикселей.

Ко всем изображениям тестовых подвыборок применены фильтры, действующие в пространственной области изображения. Использована коллекция фильтров JH Labs [], позволяющая значительным образом влиять на зашумлённость и контурность изображений.

Каждый фильтр используется в независимом эксперименте, применение нескольких фильтров совместно к одному изображению не производилось, поскольку корректно интерпретировать результаты подобного эксперимента затруднительно.

Эффективность рассматриваемых методов выявления оценена по методу, изложенному в Главе I. Получены численные оценки эффективности выявления для всех исследуемых алгоритмов.

Встраивание производилось по методу, описанному в п. 2.1.3.

Рисунки 12 и 13 содержат кривые доверительных интервалов для значения ОНК 5% для оригинальных изображений, не подвергшихся фильтрации (рисунок 12) и для изображений, предварительно подвергшихся фильтрации с помощью фильтра Edge (рисунок 13).

Рисунок 12 - Кривые доверительных интервалов для выборки, не подвергшейся фильтрации

Рисунок 13 - Кривые доверительных интервалов для выборки, подвергшейся фильтрации фильтром Edge

Из графиков на рисунках 12, 13 видно, что предварительная фильтрация способна оказать влияние на эффективность выявления. Применение прочих фильтров из набора библиотеки JHLabs приводит к схожему эффекту. Таблицы А1-А3 приложения А содержат численные оценки эффективности выявления исследуемыми методами для объёмов встраивания 3, 5 и 10% соответственно. Значение «НД» соответствует случаю, когда эффективности 95% не была достигнута.

Из численных оценок, приведённых в таблицах А1-А3 видно, что эффект падения эффективности при предварительной обработке контейнера фильтром проявляется для всех исследуемых алгоритмов и фильтров, вне зависимости от подвыборки и значения ОНК.

Также видно, что метод выявления WS показывает наибольшую стойкость к предварительной фильтрации [65].

Зависимость эффективности выявления от цветового слоя изображения

Ранее в работе предполагалось, что эффективность выявления в различных цветовых слоях одинакова, и в тестах не указывалось явно, в какие цветовые слои производится встраивание, и равномерно ли встраиваемые значения распределены по цветовым слоям. Чтобы исключить влияние конкретного выбора цветовых слоёв изображения на результат оценки эффективности выявления, требуется показать независимость эффективности от конкретного цветового слоя изображения.

Для оценки различий в эффективности выявления в различных цветовых слоях проведён эксперимент по следующему сценарию:

Исходная тестовая выборка разбита на 4 подвыборки:

коллекция 1 – 1005 изображений разрешением 640x480;

коллекция 2 – 1200 изображений разрешением 800x600;

коллекция 3 – 1200 изображений разрешением 1000x800;

коллекция 4 – 1200 изображений разрешением 1516x1137

Для каждой подвыборки отдельно независимыми экспериментами оценена эффективность выявления исследуемыми методами. При этом в каждом эксперименте встраивание производится в отдельный цветовой слой модели RGB.

Эффективность оценена по методу, описанному в Главе I. Получены численные оценки эффективности.

Встраивание производится по методу, описанному в п. 2.1.3.

Рисунки 14-16 содержат кривые доверительных интервалов исследуемых методов выявления при встраивании и анализе в слой, соответствующий красному, зелёному и синему цвету соответственно.

Рисунок 14 - Кривые доверительных интервалов для красной цветовой плоскости (red) при ОНК 5% для системы выявления на основе алгоритма (1) – RS-анализа, (2) – Difference image histogram, (3) – Sample pair analysis и (4) – Triples analysis

Рисунок 15 - Кривые доверительных интервалов для зелёной цветовой плоскости (green) при ОНК 5% для системы выявления на основе алгоритма (1) – RS-анализа, (2) – Difference image histogram, (3) – Sample pair analysis и (4) – Triples analysis

Рисунок 16 - Кривые доверительных интервалов для синего цветовой плоскости (blue) при ОНК 5% для системы выявления на основе алгоритма (1) – RS-анализа, (2) – Difference image histogram, (3) – Sample pair analysis и (4) – Triples analysis

Таблица Б1-Б4 приложения Б содержат численные оценки эффективности исследуемых алгоритмов в зависимости от цветового слоя. Из данных в таблицах Б1-Б4 видно, что выбор определённого цветового слоя оказывает незначительное влияние на эффективность выявления.

Влияние доли однородного фона на эффективность выявления

Исходя из модели детектирования изменений, описанной в п. 2.1.3, разница между значениями соседних пикселей анализируемого изображения имеет значение при выявлении изменений, вносимых в плоскость наименьших значащих бит изображения. Поскольку методы выявления в этой области ставят цель детектировать аномальные изменения пикселей на 1 по сравнению с ожидаемым, области, в которых разница в 1 по сравнению с соседними встречается часто, могут быть проблемой при выявлении. Метод может столкнуться с проблемой различения изменения значения пикселя на 1 как результата стеганографического встраивания и как естественного эффекта в данной области изображения.

В областях, где средняя разница между соседними пикселями велика, изменение на 1 по сравнению с ожидаемым значением является аномалией, легко выделяемой методом выявления. Тем не менее, существует общая семантическая область изображения, повторяющаяся на большом наборе естественных изображений – однородные фоновые области.

Под однородными фоновыми областями подразумеваются такие области изображения, в которых значения соседних пикселей изменяются не более чем на определённую величину в среднем для области и не более чем на определённую величину от среднего значения пикселей для той же области. Математически однородная фоновая область определяется следующим образом: пусть  $I$  – множество пикселей изображения. Тогда однородная фоновая область  $B$  – это совокупность таких областей изображения, для каждой из которых выполняется следующее:

$\forall r \in B: p - rN < TN, r - rA < TA$ , где

$r$  - значение яркости пикселя,

$rN$  – значение яркости соседнего пикселя, наиболее отличающегося по значению среди всех соседних пикселей данного,

$rA$  – среднее значение всех пикселей, принадлежащих множеству  $B$

$TN, TA$  – пороги, вводимые индивидуально для каждого изображения

Результат выделения однородной фоновой области в изображении из коллекции BOWS2 показан на рисунке 17 для значений порогов  $TN=2, TA=10$ . Рисунок 1а содержит оригинальное изображение. На рисунке 16 фоновые области выделены тёмно-серым.

В естественных изображениях однородные фоновые области встречаются часто: как правило, они соответствуют областям неба, моря либо искусственно создаваемого однородного фона, например, при студийной съёмке.

Характер искажений, вносимых встраиванием в LSB, определяет важность наличия и доли фоновых областей в анализируемом изображении. В фоновых областях, где разница между значениями соседних пикселей невелика, естественный характер распределения значений пикселей мало отличим от следов встраивания в LSB. Таким образом, можно ожидать падения эффективности выявления в изображениях с большой долей однородного фона.

Для подтверждения предположения проведён эксперимент по следующему сценарию:

Исходная выборка изображений разделена на подвыборки HB и LB так, что в подвыборке HB доля однородного фона составляет не менее 40%, а в подвыборке LB доля однородного фона составляет менее 5%.

Эффективность выявления в каждой подвыборке отдельно оценена по методу, приведённому в Главе I.

Встраивание производилось по методу, приведённому в п. 2.1.3, при этом при встраивании достигалось равномерное по подвыборке распределение областей фактического изменения наименьших значащих бит

между фоновыми и нефоновыми областями.

Рисунок 17 - Выделение фоновой области изображения

График на рисунке 18 показывает результат эксперимента для значения ОНК 1% для метода WS. Видно, что на подвыборке НВ наблюдается значительное падение эффективности выявления. На значениях ОНК 3, 5 и 10% наблюдается такой же эффект: эффективность на подвыборке НВ стабильно ниже, чем на подвыборке LB.

Поскольку однородный фон – общая и часто встречающаяся семантическая область изображения, а её выделение можно провести автоматически для изображения, падение эффективности выявления методом WS при анализе в фоновых областях позволяет организовать атаку на наиболее эффективный метод из рассмотренных, встраивая сообщения в фоновые области с подходящими свойствами, тем самым снижая эффективность анализа подобным контейнером методом WS. Актуальна задача исследования причины падения эффективности при анализе в фоновых областях и усовершенствования алгоритма WS для нивелирования эффекта падения эффективности при анализе в фоновой области [62, 66].

Рисунок 18 - Падение эффективности выявления методом WS в условиях большой доли однородного фона в изображении

Выводы

Плоскость наименьших значащих бит изображения – практически применимый контейнер для стеганографического встраивания. Эффективность использования плоскости наименьших значащих бит изображения для стеганографии достигается высокой случайностью распределения значений в этой плоскости, малой заметностью факта встраивания для наблюдателя и алгоритмов выявления, большим объёмом области как стеганоконтейнера.

Современные методы выявления демонстрируют низкую эффективность в задаче определения факта встраивания в плоскость наименьших значащих бит изображения.

Наибольшую эффективность среди исследуемых методов показывает метод Weighted Stego Image. Метод демонстрирует наибольшую эффективность вне зависимости от значения ОНК, цветовой плоскости изображения, предварительной фильтрации изображения и разрешения изображения.

Задача повышения эффективности выявления неподвижных цифровых изображений на малых значениях ОНК актуальна в связи с постоянным ростом разрешений изображений, передаваемых в сети интернет, а также в связи с тем фактом, что рост эффективности выявления за счёт повышения разрешения изображения не в состоянии нивелировать падение эффективности за счёт снижения значения ОНК при постоянной длине встраиваемого сообщения.

Предварительная фильтрация изображения-контейнера и выбор определённого цветового слоя для встраивания оказывает незначительное влияние на эффективность последующего выявления контейнера.

Эффективность выявления методом Weighted Stego падает при анализе изображений с большой долей однородного фона.

Распространённость изображений с однородным фоном и возможность выделения фона из изображения автоматически создаёт возможность для атаки на метод WS с целью понижения эффективности анализа. Это обуславливает актуальность задачи разработки методов увеличения эффективности выявления методом WS, в том числе, в фоновых областях изображений.

#### МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ В ФОНОВЫХ ОБЛАСТЯХ

Модель выявления в фоновых областях

Анализ причин падения эффективности выявления в фоновых областях

Метод статистического выявления WS и его модификации, рассматриваемые в статье, в качестве результата работы имеют оценку длины встроенного в LSB пикселей сообщения. При построении систем детектирования факта стеганографического встраивания к результату работы алгоритма применяется бинарная классификация. Из превышения оцененной длиной сообщения определённого порога делается вывод о наличии либо отсутствии факта стеганографического встраивания в сообщении.

Идеальный классификатор всегда определяет оригинальные изображения как чистые (True Negative, TN) и модифицированные – как стеганограммы (True Positive, TP). В реальных условиях классификатор может допускать ошибки, классифицируя оригинальные изображения как стеганограммы (False Positive, FP) и модифицированные изображения как чистые (False Negative, FN). Распределение доли классификации по классам зависит от корректности оценки длины сообщения алгоритмом. В качестве оценки эффективности выявления используется процент некорректной классификации при заданном проценте корректной классификации.

При анализе точности функции предсказания пикселей в фоновых областях в качестве метрики точности используется отклонение предсказанного значения от действительного, усреднённое по фоновой области изображения, и, далее, по всем изображениям выборки.

Метод WS в процессе выявления оценивает длину встроенного в стеганоконтейнер сообщения [60]. Дальнейший

вывод о наличии или отсутствии стеганографического встраивания делается исходя из заданных пороговых значений и того факта, что оцененная длина превышает (или не превышает) выбранный порог длины. При превышении пороговой длины делается вывод о наличии встраивания. Если оцененная длина меньше порогового значения, делается вывод, что встраивание отсутствует. Таким образом, итоговая эффективность классификации напрямую зависит от точности оценки длины встроеного сообщения в битах.

Как показано в Главе I, метод статистического выявления неподвижного цифрового изображения, вне зависимости от деталей его реализации, может быть рассмотрен в двух контекстах:

как инструмент оценки длины встроеного сообщения;

как бинарный классификатор, определяющий факт встраивания.

Таким образом, наблюдаемый эффект падения эффективности при выявлении в фоновых областях, показанный в Главе II, может проявляться, в зависимости от контекста рассмотрения, одним из следующих образов.

При рассмотрении системы как бинарного классификатора – за счёт завышения доли положительных или отрицательных ложных срабатываний алгоритма при работе на изображениях с большой долей однородного фона;

При рассмотрении метода, оценивающего длину встроеного сообщения – за счёт системного завышения или занижения оцененной длины сообщения на выборке на выборке изображений с большой долей однородного фона по сравнению с таковой на выборке изображений с малой долей однородного фона.

Оценка обоих аспектов итогового падения эффективности важна для понимания причины наблюдаемого эффекта.

Падение эффективности выявления как бинарной классификации состоит в завышении доли ложных классификаций (ложноположительной и ложноотрицательной как по-отдельности, так и одновременно) по сравнению с образцовыми значениями.

Условия анализа

Для оценки доли ложных классификаций при анализе изображений с различной долей однородного фона требуется провести два эксперимента на различных выборках изображений. Формируются три выборки.

Образцовая выборка содержит набор изображений из тестовой коллекции без разделения на изображения с большой и малой долей однородного фона. При этом гарантируется, что выборка не имеет значительного перекоса в сторону изображений с большой или, напротив, малой долей однородного фона. Способ оценки величины перекоса приведён ниже.

Выборка HB содержит только изображения, в которых доля однородного фона составляет более 40%.

Выборка LB содержит только изображения, в которых доля однородного фона составляет менее 5%.

Доля однородного фона вычисляется по следующей