



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Методы и алгоритмы повышения эффективности
стеганоанализа неподвижных изображений со встроенной
информацией в пространственную область

Соискатель Башмаков Даниил Андреевич

05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная
безопасность

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н., проф. Коробейников Анатолий Григорьевич

Цель, объект и предмет исследования

Цель работы: повышение эффективности методов детектирования факта стеганографического встраивания информации в наименьшие значащие биты пикселей неподвижных цифровых изображений при малых значениях отношения нагрузка-контейнер в задаче обеспечения защищённости информации путём предотвращения её утечек по каналам передачи информации на основе стеганографии.

Объект исследования: методы стеганоанализа в НЗБ неподвижных цифровых изображений.

Предмет исследования: эффективность методов стеганоанализа в НЗБ неподвижных цифровых изображений.



Научная задача

Поставлена **научная задача** по разработке методов повышения эффективности детектирования факта стеганографического встраивания в плоскость наименьших значащих бит неподвижных цифровых изображений при малых значениях отношения нагрузка-контейнер.

Научная задача допускает декомпозицию на следующие **частные задачи**:

- Анализ существующих методов стеганоанализа неподвижных цифровых изображений в наименьших значащих битах (НЗБ).
- Исследование эффективности существующих методов стеганоанализа в НЗБ неподвижных цифровых изображений, определение наиболее эффективного метода на сегодняшний день.
- Исследование зависимости эффективности стеганоанализа определённым в задаче 2 методом от характеристик изображения, определение направлений улучшения метода.
- Разработка методов повышения эффективности стеганоанализа в НЗБ неподвижных цифровых изображений с повышенной точностью при малых значениях ОНК.

Области исследований

по паспорту специальности 05.13.19

5. Методы и средства (комплексы средств) информационного противодействия угрозам нарушения информационной безопасности в открытых компьютерных сетях, включая Интернет.

6. Модели и методы формирования комплексов средств противодействия угрозам хищения (разрушения, модификации) информации и нарушения информационной безопасности для различного вида объектов защиты вне зависимости от области их функционирования.



Положения, выносимые на защиту

1. Метод повышения эффективности стеганоанализа неподвижных изображений за счёт прогноза пикселей анализируемого изображения по кортежам
2. Метод повышения эффективности стеганоанализа неподвижных изображений за счёт адаптивного прогноза в градиентных областях изображения
3. Метод повышения эффективности стеганоанализа неподвижных изображений за счёт накопления статистики стеганоанализатора



Актуальность и научная новизна

Актуальность обосновывается низкой эффективностью существующих методов стеганоанализа в задаче обнаружении факта встраивания в пространственную область неподвижных цифровых изображений.

Научная новизна:

- Метод повышения эффективности **за счёт прогноза по кортежам** оперирует понятием пиксельного кортежа, вводя в модель прогноза значения пикселя анализатором структуру, использование которой, при малых значениях отношения нагрузка-контейнер, ведён к повышению точности прогноза в фоновых областях анализируемого изображения, в которых существующие методы (критерий хи-квадрат, RS-анализ, гистограммный метод) недействительны.
- Метод повышения эффективности **за счёт адаптивного прогноза** в градиентных областях изображения оперирует понятием градиентной области, характерной для фоновых областей изображения, и, за счёт учёта особенностей распределения значений пикселей в градиентных областях повышает эффективность стеганоанализа, исключая предположение о неизвестности распределения значений пикселей контейнера для таких областей.
- Метод повышения эффективности **за счёт накопления статистики** анализатором учитывает универсальность статистических данных, используемых для повышения эффективности стеганоанализа в методе 1, и, вводя метрику схожести статистик изображений в аспекте применения к задаче стеганоанализа, ведёт к повышению эффективности стеганоанализа за счёт накопления и использования более показательной статистики распределения значений пикселей в фоновых областях изображений.



Достоверность и практическая значимость

Достоверность полученных результатов достигается путём использования апробированного математического аппарата, системным подходом при описании объекта исследования, проведением сравнительного анализа полученных результатов с существующими показателями, использованием проверенных методик в оценке эффективности методов стеганоанализа, результатами практических экспериментов.

Практическая значимость состоит в том, что использование методов повышения эффективности стеганоанализа, предложенных 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.



Практическая значимость (продолжение)

При использовании в системах пассивного противодействия стеганографическим каналам передачи информации, повышения эффективности стеганоанализа ведёт к снижению риска утечки информации по такому каналу передачи данных.

$$R = P_{\text{реал}} * U = (1 - P_{\text{обн}}) * U$$

R – риск утечки информации по стеганографическому каналу,

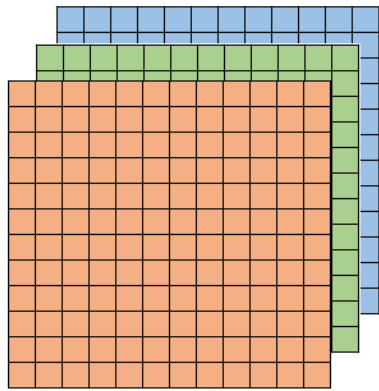
$P_{\text{реал}}$ – вероятность реализации угрозы

$P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения угрозы

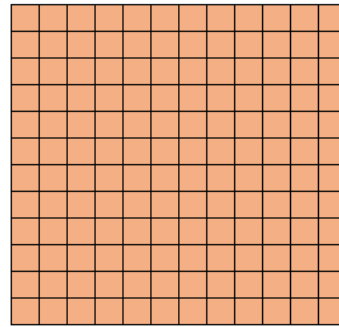
U – ущерб от реализации угрозы



Метод встраивания в НЗБ

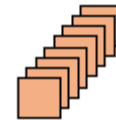


Пространственная область



Цветовая плоскость

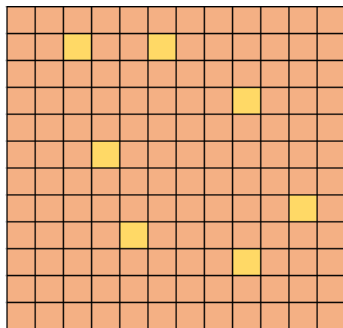
b



Двоичное представление пикселя



НЗБ



Стеганописьлка

$$LSB(x, y) = M(n)$$

Встраивание

$$E = \frac{M}{3ab}$$

ОНК

Методы стеганоанализа

Метод	Преимущества	Недостатки
Triples Analysis	Простота реализации, вычислительная простота	Малая эффективность при малых значениях ОНК
Sample Pairs Analysis	Высокая эффективность при больших и средних значениях полезной нагрузки	Малая эффективность при малых значениях полезной нагрузки
RS-analysis	Высокая эффективность при малых значениях полезной нагрузки	Эффективность зависит от применяемой маски
Difference Image Histogram	Простота реализации, низкая вычислительная сложность	Малая эффективность при малых значениях ОНК
Weighted Stego Analysis	Высокая эффективность на широком диапазоне значений полезной нагрузки	Высокая вычислительная сложность

Эффективность метода стеганоанализа

Как средства оценки длины встроенного сообщения

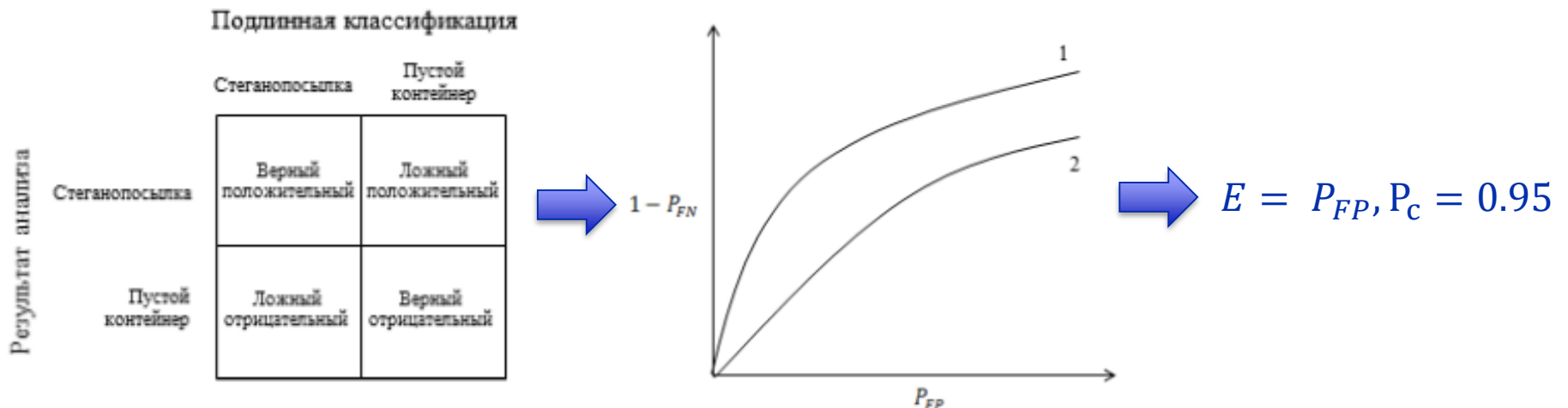
$$E_L = \frac{\sum_1^N |L_a - L_p|}{N}, \text{ где}$$

N – число анализируемых последовательно изображений,

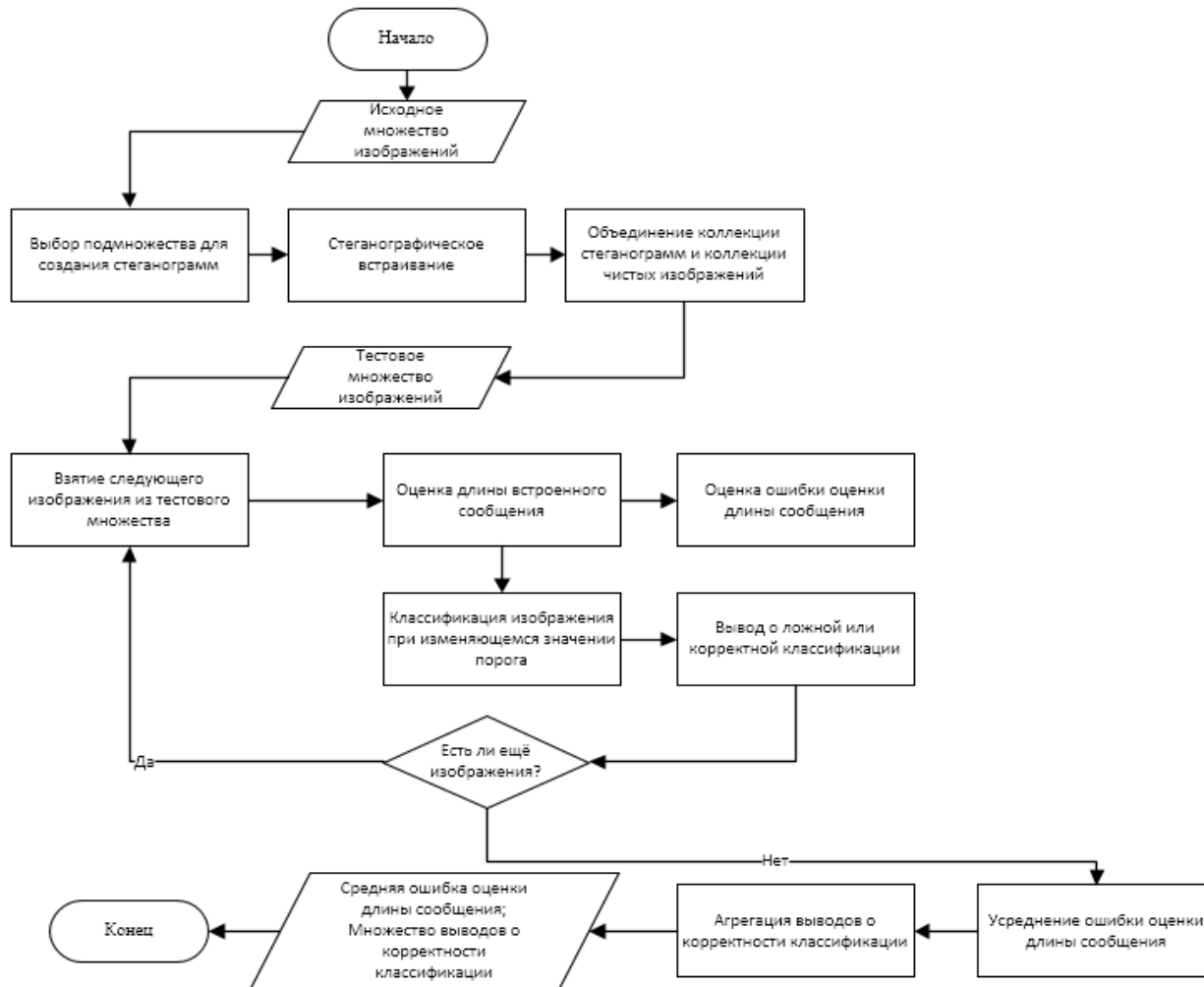
L_a – оцененная методом стеганоанализа длина встроенного сообщения,

L_p – действительная длина встроенного сообщения

Как средства бинарной классификации

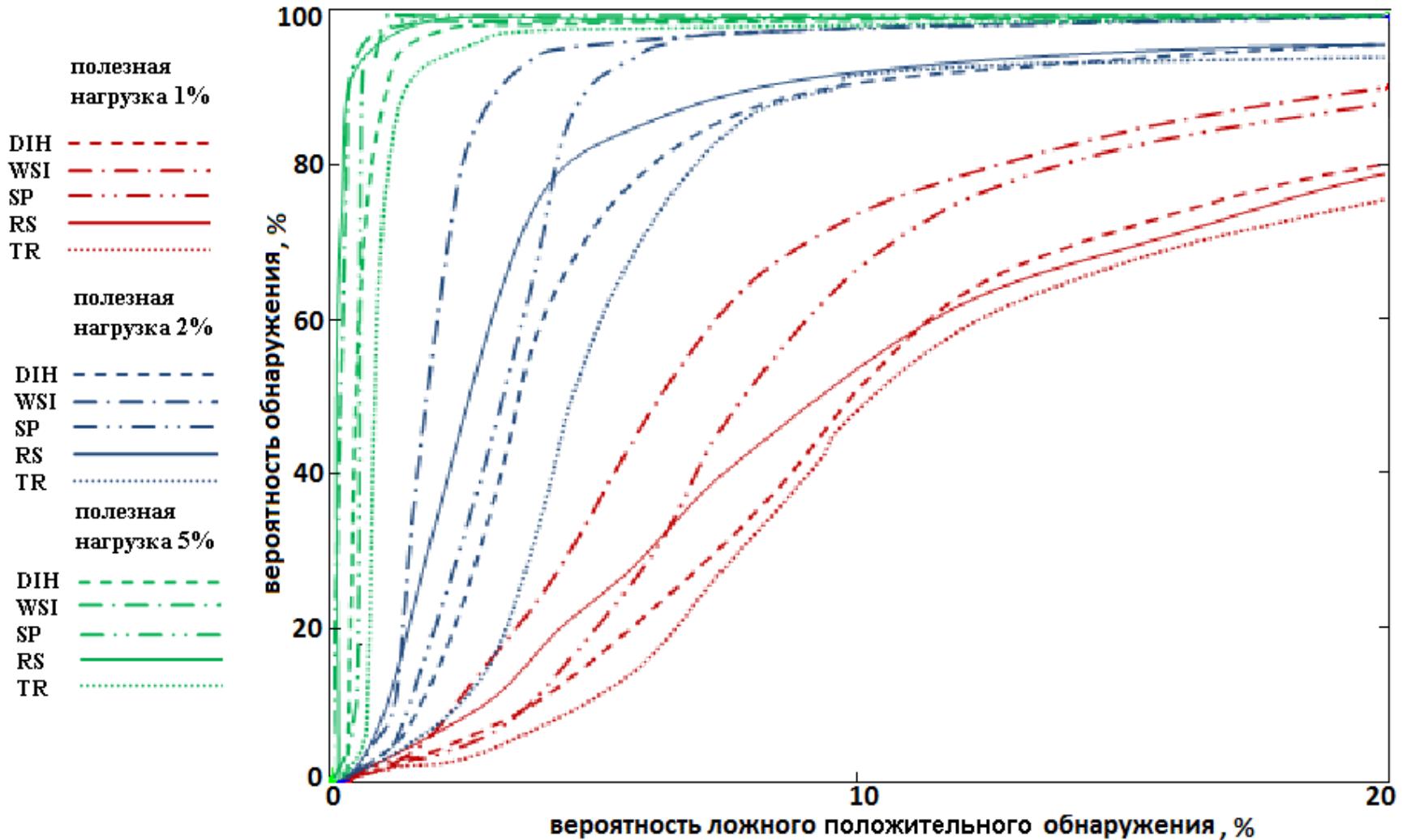


Алгоритм эксперимента по оценке эффективности метода стеганоанализа

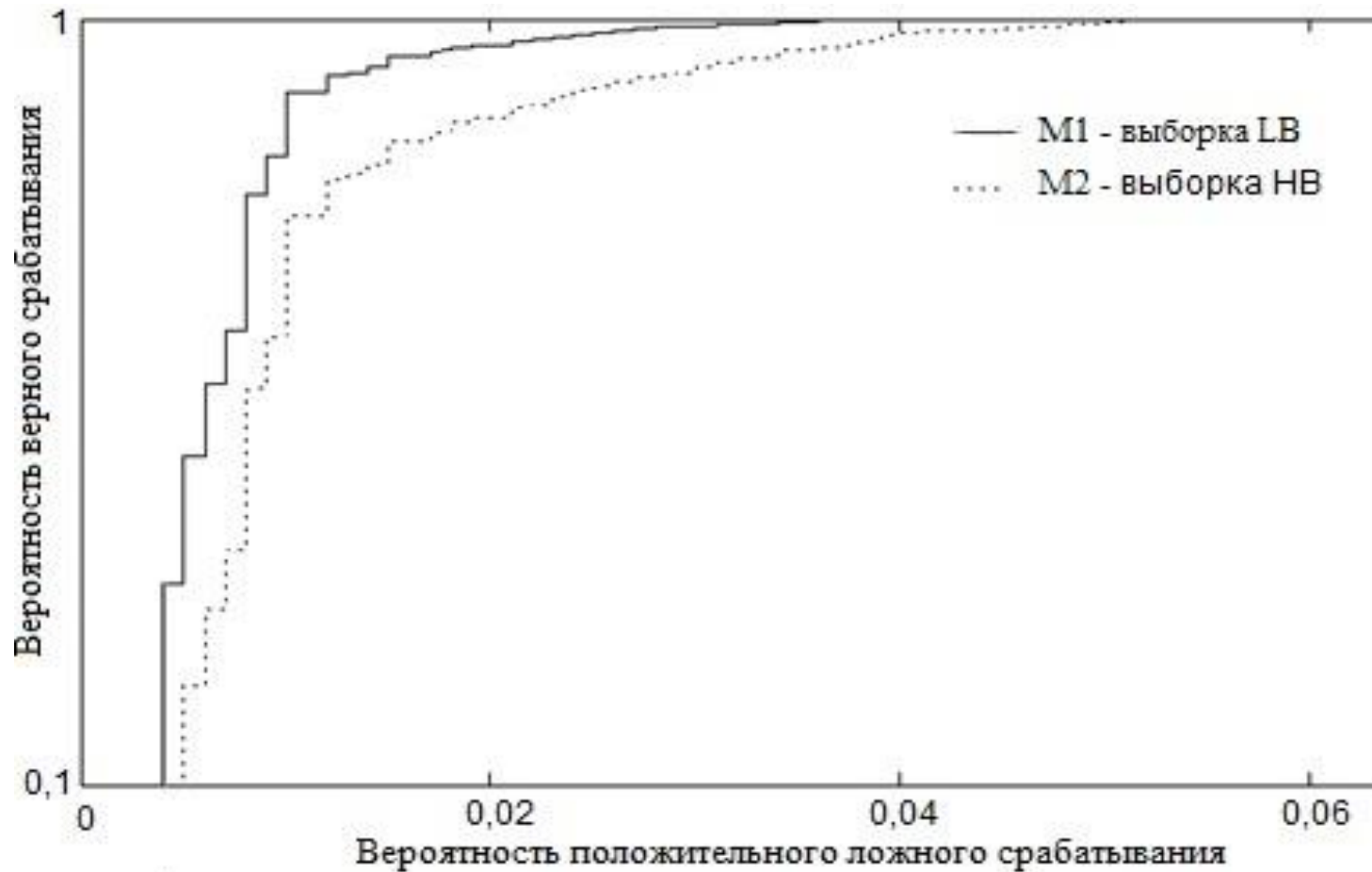




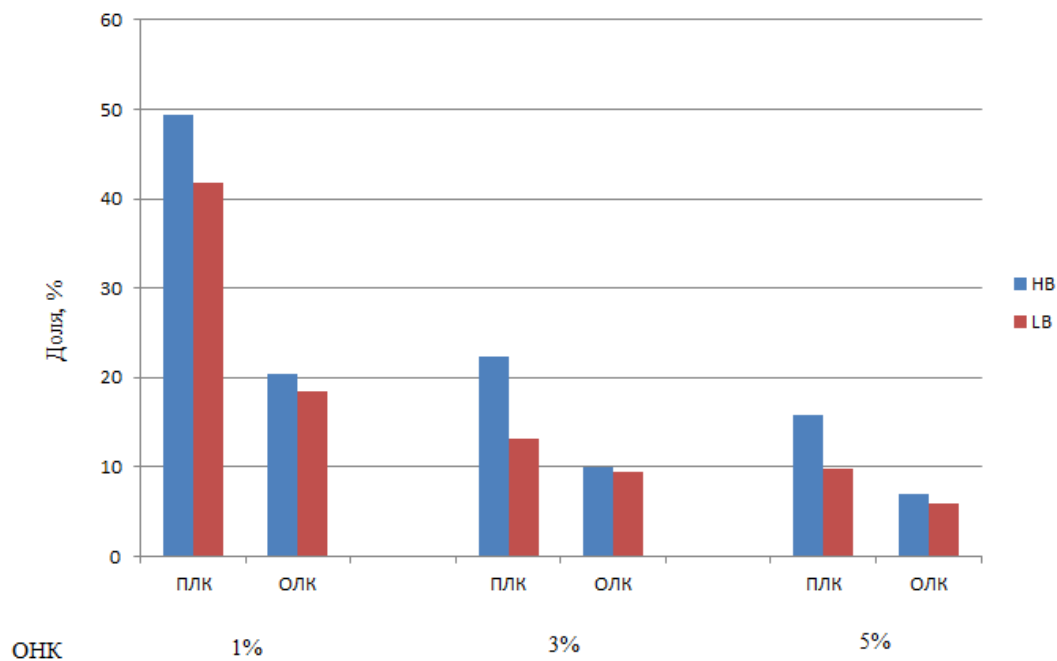
Результаты сравнения эффективности методов стеганоанализа



Зависимость эффективности стеганоанализа от доли однородного фона (продолжение)



Падение эффективности стеганоанализа в фоновых областях



Выборка / Подвыборка	HB	LB
Чистые изображения (Доля ПЛК)	22,4%	13,1%
Стеганограммы (Доля ОЛК)	10,0%	9.5%

Падение эффективности стеганоанализа в фоновых областях (продолжение)

$$M = 2 \sum_{i=1}^N (s_i - \hat{c}_i)(s_i - \bar{s}_i), \quad \text{где}$$

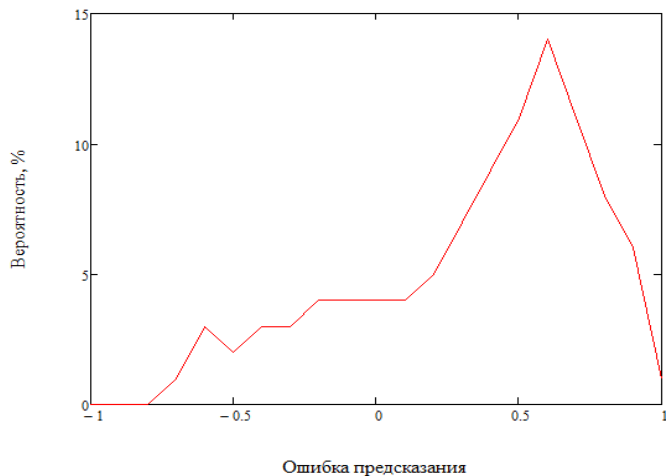
M - оцененная длина сообщения,

N - размер изображения в пикселях,

s_i - фактическое значение пикселя анализируемого изображения,

\bar{s}_i - фактическое значение пикселя анализируемого изображения с инвертированным НЗБ,

\hat{c}_i - значение пикселя, спрогнозированное методом WS

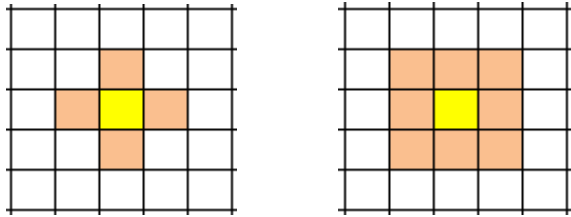


$$\hat{c}_F(i, j) = \frac{c(i+1, j) + c(i-1, j) + c(i, j+1) + c(i, j-1)}{4}, \quad \text{где}$$

$c(i, j)$ – значение пикселя с координатами i, j в пространственном распределении изображения



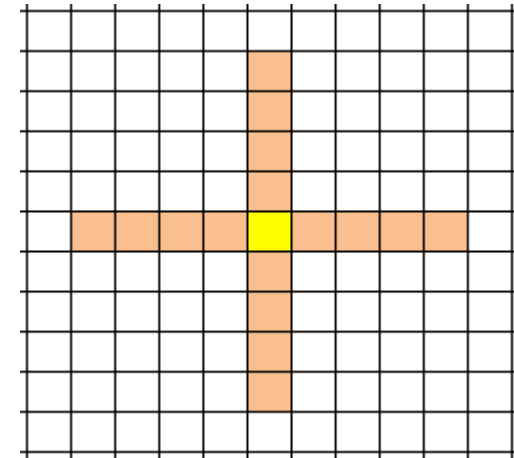
Метод повышения эффективности анализа за счёт прогноза по кортежам пикселей



Прогноз по соседним пикселям

92	L	4	88	71	90	91	10451
17	U	4	17	17	16	18	7003
38	D	3	39	40	39		81056
Прогноз	Направление	Размер	Кортеж				Мощность

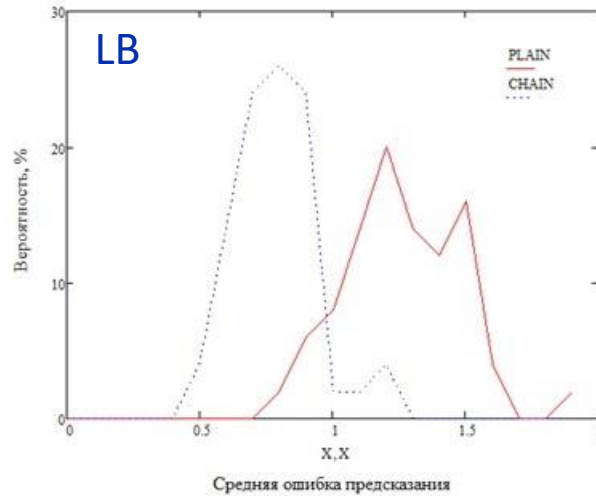
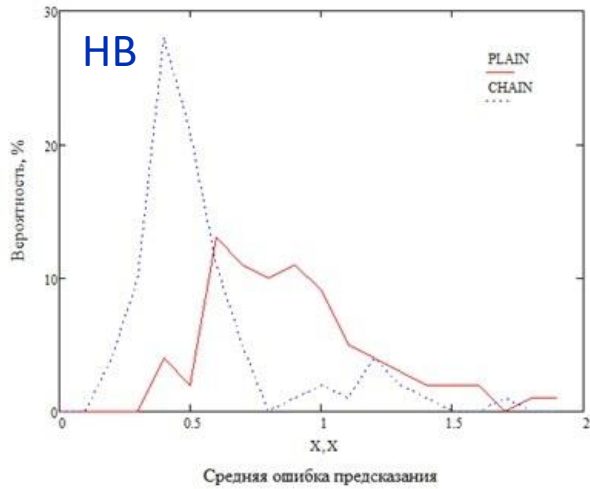
Фрагмент матрицы кортежей



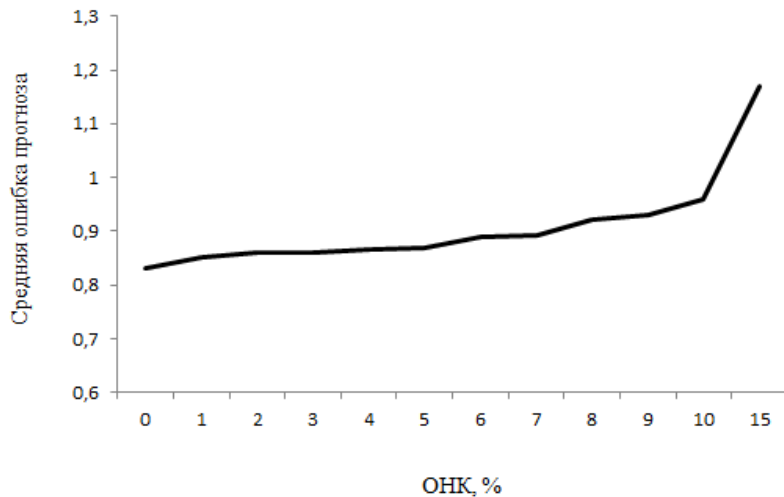
Кортежи, n=4



Метод повышения эффективности анализа за счёт прогноза по кортежам пикселей (продолжение)



Метод / Коллекция	NB	LB
По среднему	1.22	1.74
По кортежам	0.74	0.96



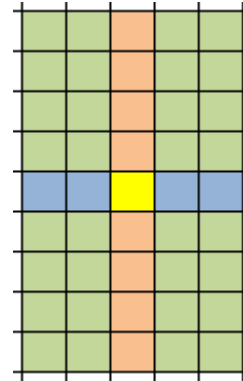
ОНК, %	1	2	3	4	5
Рост ошибки, %	2,41	3,61	3,62	4,22	4,58

Метод повышения эффективности анализа за счёт прогноза по кортежам пикселей (продолжение)

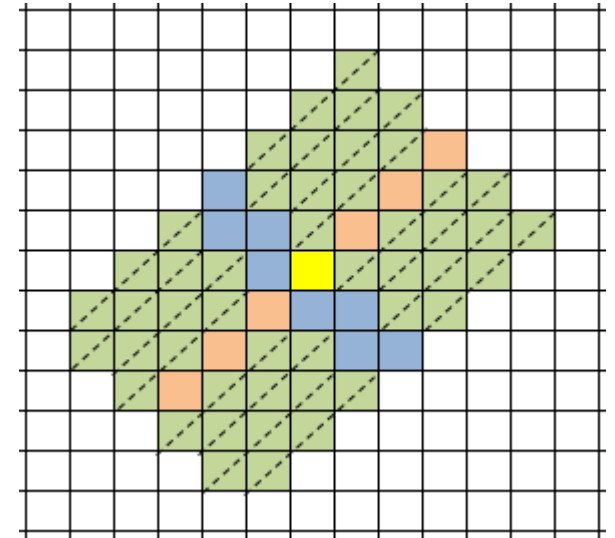
ОНК / Разрешение	800x800	1500x1500	2400x2400	В среднем
1%	9,75%	9,1%	6,95%	8,6%
2%	8,65%	7,6%	5,75%	7,3%
3%	5,6%	5,45%	5%	5,4%
4%	4,1%	4,05%	4,0%	4,03%
5%	3,8%	3,7%	3,3%	3,6%

Увеличение эффективности составляет от 3,3% до 9,75% в зависимости от объёма встраивания и разрешения изображения. В среднем по выборке увеличение эффективности составляет 5,7%.

Метод повышения эффективности анализа за счёт адаптивного прогноза в градиентах



U-D, P=4, N=2



UR-DL, P=4, N=4

$$\exists a_i: |a_i - a_{i+1}| > k \sqrt{\sum_1^P (a_i - a_{i+1})^2} \cap \forall b \in B_n: |b_i - b_{i+1}| < k \sqrt{\sum_1^P (b_i - b_{i+1})^2} \rightarrow a$$

$\in A_{gr}$, где $i \in [0, P]$, $a_i(a_{mn}) = A[m \pm p][n \pm p]$, $b_i(b_{qr}) = A[q \pm p][r \pm p]$



Метод повышения эффективности анализа за счёт адаптивного прогноза в градиентах

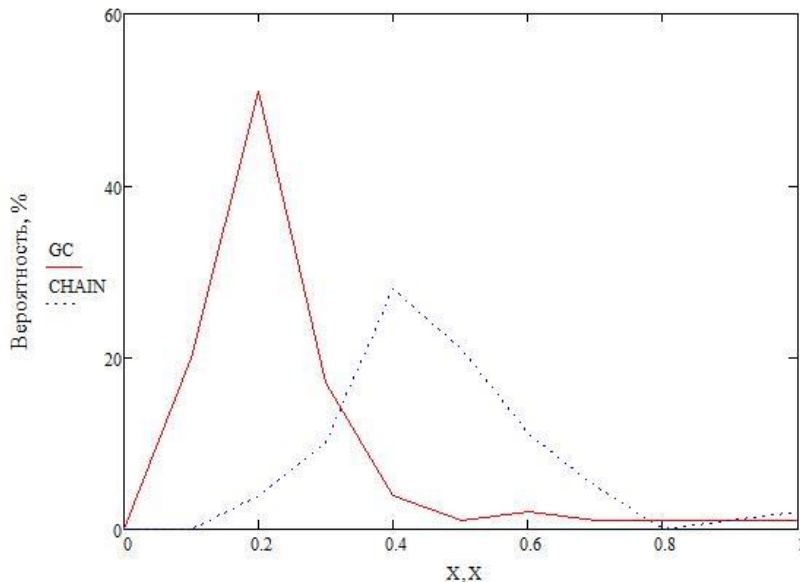
1089	102	301	300	300	299	297	297	16 UL-DR	
800	10987	0	0	1	1	1	2	5 D	
7090	3	77	76	76	75	74	72	22 RL	
Координата X	Координата Y	Градиентный кортеж						Сила	Направление

$$a_f: S(P, a_f) = S_{\min}(P, a_u), a_u \in U, a_f \in U$$

Определение принадлежности

$$a_F = w a_{fm} + (w - 1) a_{fg}$$

Взвешенный прогноз



Метод / Коллекция	НВ	ЛВ
По кортежам	0,74	0,96
По кортежам и градиентным кортежам	0.63	0.82

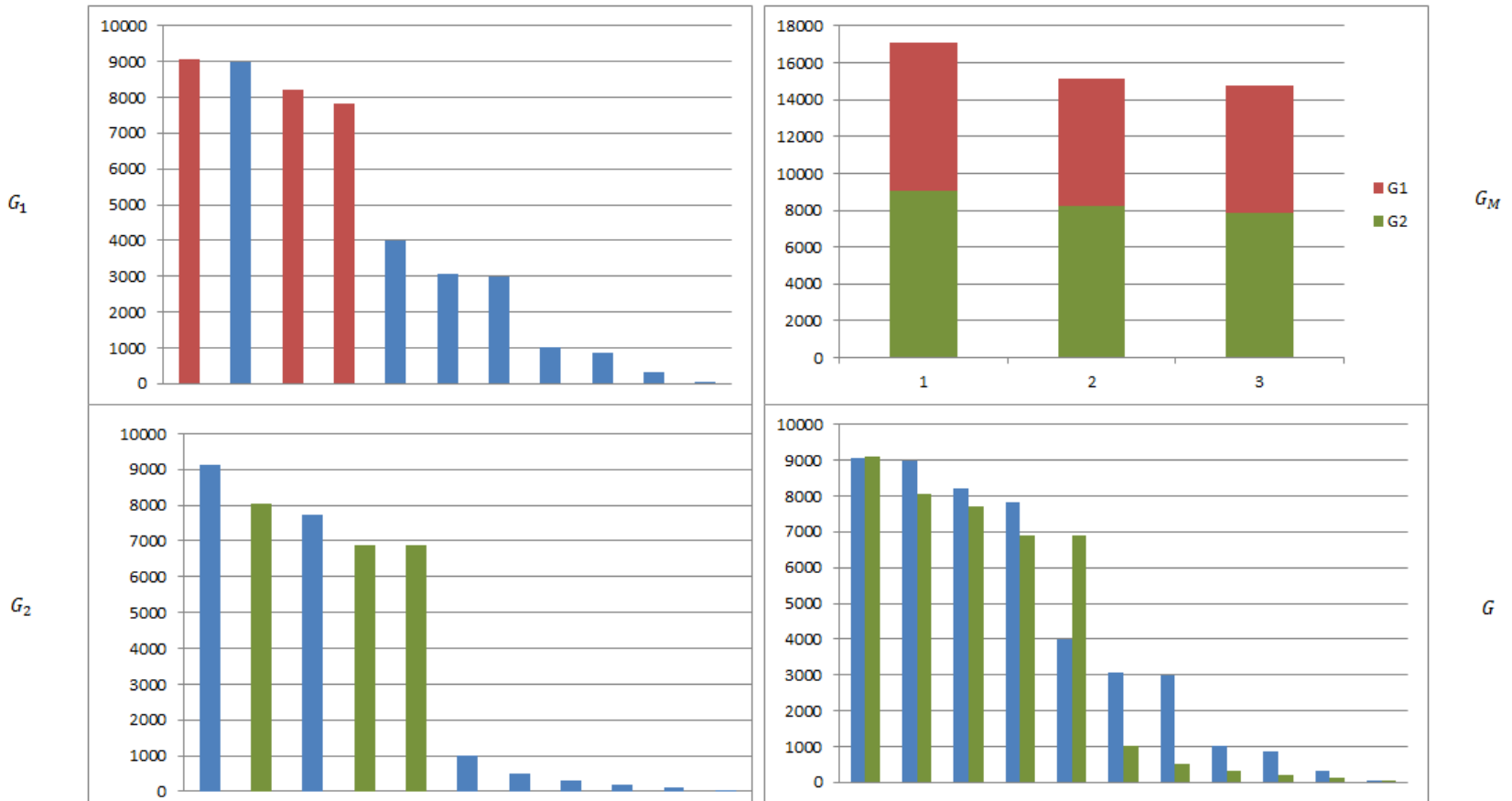
Метод повышения эффективности анализа за счёт адаптивного прогноза в градиентах

ОНК / Разрешение	800x800	1500x1500	2400x2400	В среднем
1%	5,1%	5,1%	5,2%	5,1%
2%	4,45%	4,6%	4,9%	4,65%
3%	4,0%	4,4%	4,9%	3,1%
4%	2,3%	2,8%	3,3%	2,8%
5%	2,2%	2,6%	3,0%	2,6%

Увеличение эффективности составляет от 2,2% до 5,2% в зависимости от объёма встраивания и разрешения изображения. В среднем по выборке увеличение эффективности составляет 3,65%.



Метод повышения эффективности анализа за счёт накопления статистики

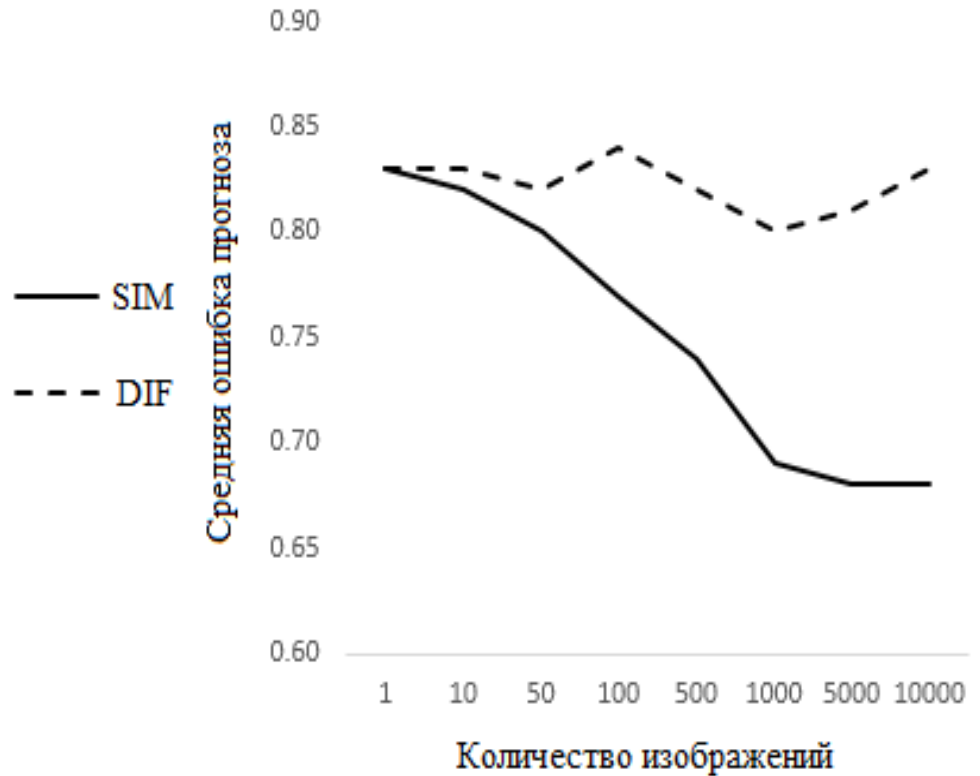




Метод повышения эффективности анализа за счёт накопления статистики

$$S = \begin{cases} \frac{m(G_1, g)}{m(G_2, g)}, & m(G_1, g) < m(G_2, g) \\ \frac{m(G_2, g)}{m(G_1, g)}, & m(G_2, g) < m(G_1, g) \end{cases}$$

Оценка схожести



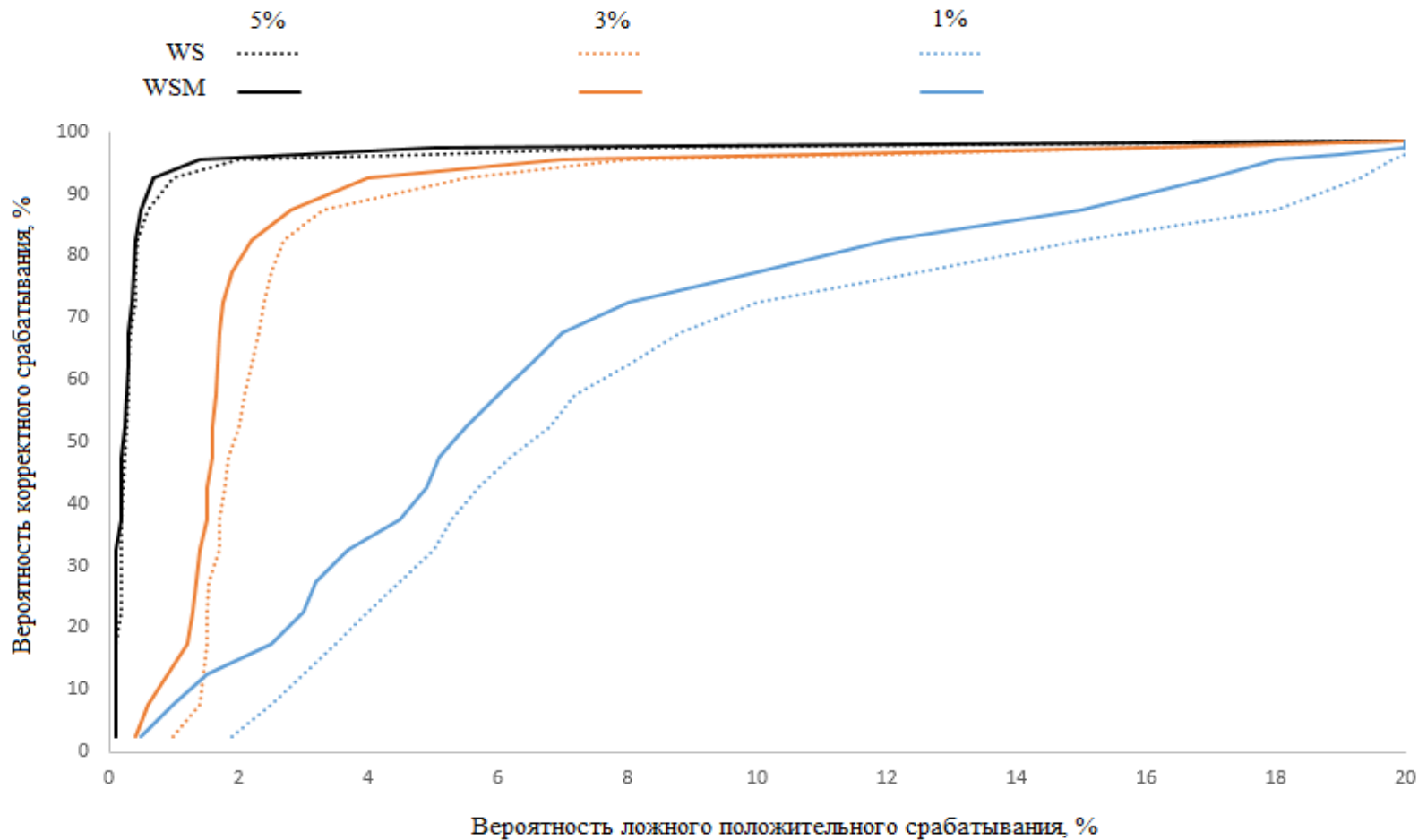
Совместное применение методов повышения эффективности стеганоанализа

ОНК / Размер выборки	1	1000	10000	50000	В среднем
1%	9,5%	9,6%	9,6%	9,7%	9,6%
2%	9,1%	9,1%	9,3%	9,3%	9,2%
3%	8,6%	8,6%	8,7%	8,7%	8,65%
4%	6,9%	7,0%	7,1%	7,1%	7,0%
5%	6,3%	6,3%	6,5%	6,7%	6,45%

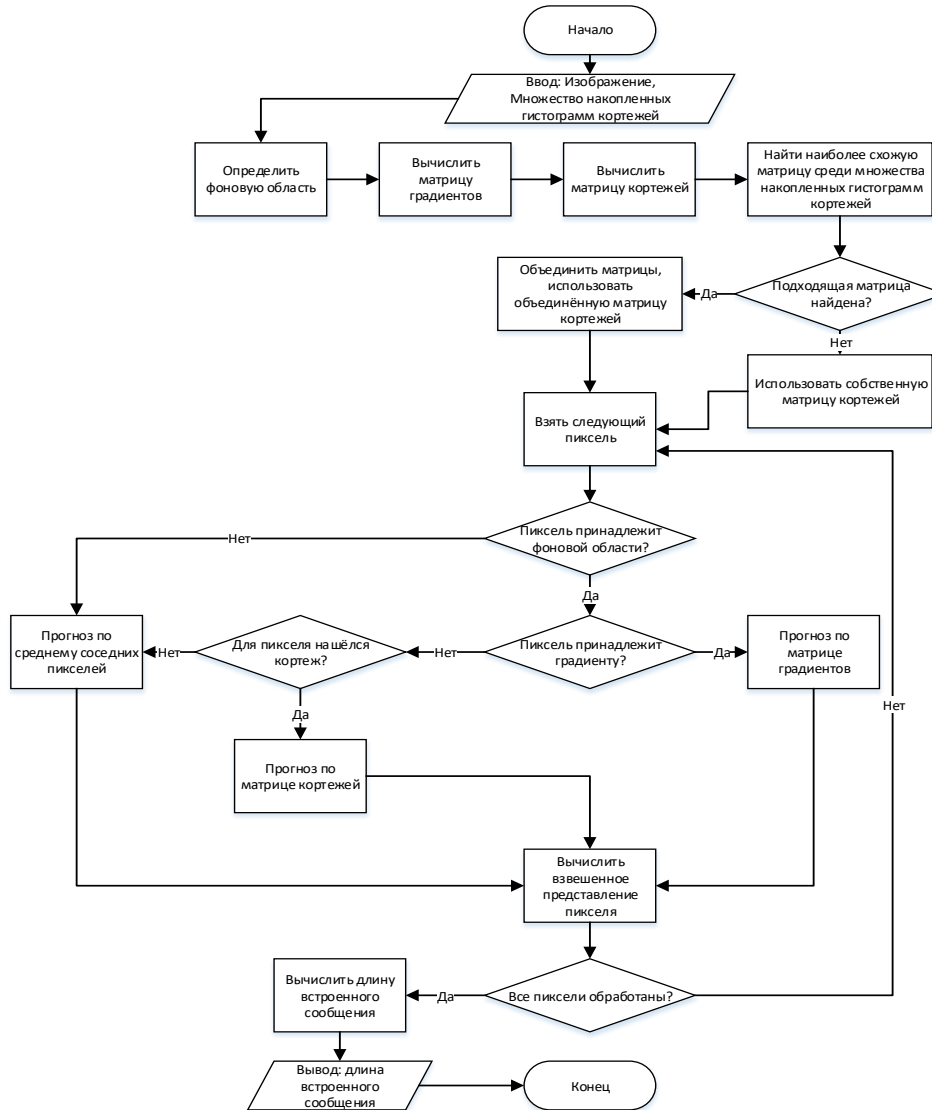
Увеличение эффективности составляет от 6,3% до 9,7% в зависимости от объёма встраивания и размера выборки. В среднем увеличение эффективности составляет 8,1%.



Совместное применение методов повышения эффективности стеганоанализа



Алгоритм и рекомендованные значения аргументов



Аргумент	Знач.
Длина кортежа n	3-5
Нормированный порог мощности кортежа T , %	0,1-0,4
Минимальная длина градиентного кортежа P	6
Максимальная сила градиента k	1,1
Минимальная ширина градиента N	4
Допуск поиска в градиенте R	10
Вес совместного учёта кортежей w	0,6
Отношение схожести элементов матрицы кортежей S_T	0,88
Предельный порог схожести матриц кортежей	0,72



Результаты

- Исследованы существующие методы стеганоанализа неподвижных цифровых изображений и определён метод, позволяющий достичь наибольшей эффективности стеганоанализа – метод Weighted Stego (WS).
- Исследована зависимость эффективности анализа методом WS от характеристик анализируемого изображения, в частности, от наличия однородного фона в изображении.
- Показана связь особенности характеристик распределения пикселей в фоновых областях с эффективностью стеганоанализа методом WS.
- Разработаны методы увеличения эффективности стеганоанализа методом WS, задействующие более сложные структуры пикселей анализируемого изображения для прогноза значений пикселей.
- Разработана блок-схема алгоритма анализа по методу WS с учётом предложенных усовершенствований для построения реализаций на его основе.

Публикации по теме диссертации

В журналах перечня ВАК:

1. Башмаков Д.А. Точность предсказания пикселей фоновых областей цифровых изображений в задаче стеганоанализа методом Weighted Stego // Кибернетика и программирование. — 2018. - № 2. - С.38-47. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.2.25706. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_25706.html
2. Башмаков Д.А. Адаптивное предсказание пикселей в градиентных областях для улучшения точности стеганоанализа в неподвижных цифровых изображениях // Кибернетика и программирование. — 2018. - № 2. - С.83-93. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.2.25514. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_25514.html
3. Башмаков Д.А., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Сивачев А.В. Применение матриц соседства пикселей для улучшения точности стеганоанализа неподвижных цифровых изображений с однородным фоном // Кибернетика и программирование. — 2018. - № 1. - С.64-72. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.1.24919. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_24919.html
4. Прохожев Н.Н., Сивачев А.В., Михайличенко О.В., Башмаков Д.А. Повышение точности стеганоанализа в области ДВП путем использования взаимосвязи между областями двумерного и одномерного разложений. Кибернетика и программирование. 2017. № 2. С. 78-87.
5. Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Башмаков Д.А. Эффективность стеганоанализа на основе методов машинного обучения. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 3(109). С. 457-466.

В журнале, индексируемом Scopus:

- Sivachev A., Prokhozhev N., Mikhailichenko O., Bashmakov D., Korobeynikov A.G. Passive Steganalysis Evaluation: Reliabilities of Modern Quantitative Steganalysis Algorithms [Текст] // Advances in Intelligent Systems and Computing – 2016. Vol. 451. – pp. 89-94



Внедрение результатов

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Университета ИТМО

_____ В.О. Никифоров
«__» _____ 2018

АКТ

об использовании научных и практических результатов кандидатской диссертации Башмакова Д.А. в учебном процессе в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики

Комиссия в составе: зав. кафедрой ПБКС, к.т.н., доцента Заколдаева Д.А., профессора кафедры ПБКС, д.т.н. Ткалич В.Л. и доцента кафедры ПБКС д.т.н. Гришнцев А.Ю. подтверждает, что приведенные в диссертации результаты исследования внедрены в курс лекций и проведение лабораторных занятий по специальности 10.04.01 «Информационная безопасность» по магистерской программе «Проектирование комплексных систем информационной безопасности» по дисциплине «Стеганографические методы защиты информации».

Зав. кафедрой ПБКС _____ к.т.н., доц. Заколдаев Д.А.

Профессор кафедры ПБКС _____ д.т.н., проф. Ткалич В.Л.

Доцент кафедры ПБКС _____ д.т.н., доц. Гришнцев А.Ю.

Санкт-Петербургский филиал учреждения Российской Академии наук
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
(СПбФ ИЗМИРАН)

УТВЕРЖДАЮ
Директор СПбФ ИЗМИРАН
_____ д.ф.-м.н., профессор
Ю.А. Копытенко
«15» марта 2018 г.

Акт
о внедрении в СПбФ ИЗМИРАН
результатов диссертационной работы
Башмакова Даниила Андреевича

Настоящий акт составлен в том, что в Санкт-Петербургском филиале Учреждения Российской Академии наук Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН (СПбФ ИЗМИРАН) внедрены и реализованы в виде программного комплекса основные результаты диссертационной работы Башмакова Даниила Андреевича по теме «Методы и алгоритмы повышения эффективности стеганоанализа неподвижных цифровых изображений со встроенной информацией в пространственную область».

Внедрение результатов позволило:

1. Контролировать карты, хранимые и передаваемые, в виде неподвижных цифровых изображений, на предмет наличия в них информации, встроенной средствами стеганографии;
2. Пресекать несанкционированную передачу информации по каналам скрытной передачи информации, использующим стеганографическое встраивание информации в карты.

Ученый секретарь СПбФ ИЗМИРАН
к.физ.-мат.н, в.н.с _____ В.С. Исмагилов

Спасибо за внимание