

На правах рукописи

Сивачев

Сивачев Алексей Вячеславович

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ
ВСТРОЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВЕЙВЛЕТ ОБЛАСТИ
НЕПОДВИЖНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ МАШИННОГО
ОБУЧЕНИЯ**

Специальность 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Научный руководитель: **Коробейников Анатолий Григорьевич**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры проектирования и безопасности компьютерных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

Официальные оппоненты: **Ныркв Анатолий Павлович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

Оков Игорь Николаевич
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник филиала АО «Концерн радиостроения «Вега» в г. Санкт-Петербурге

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет».

Защита диссертации состоится "___" _____ 2018 г. в ___ часов ___ минут на заседании диссертационного совета Д 002.199.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук <http://www.spiiras.nw.ru>

Автореферат разослан "___" _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.199.01
кандидат технических наук



А.А. Зайцева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время существует достаточно большое количество программ, общедоступных через сеть Интернет, позволяющих скрыть желаемую информацию с помощью стеганографии. Доступность использования стеганографии привела к тому, что данная наука на сегодняшний день активно применяется преступными группами, террористическими или иностранными разведывательными организациями для скрытой передачи информации. Таким образом, существует проблема противоправного использования стеганографии. На сегодняшний день известны десятки методов, позволяющих встраивать информацию в текстовые, графические, звуковые и другие компьютерные файлы. Таким образом, для предотвращения противоправного использования стеганографии параллельно с ней развивается направление стеганодетектирования, которое направлено на выявление факта встраивания информации в контейнер. В настоящей диссертационной работе в качестве контейнера рассматриваются неподвижные изображения. С одной стороны, такие изображения интересны в качестве контейнера в связи со сравнительной простотой встраивания информации и наличием большого количества разработанных методов встраивания информации. С другой стороны, такие изображения интересны в связи с большим количеством ежедневно обрабатываемых изображений, в потоке которых можно скрыть изображение со встроенной информацией.

Диссертационная работа ориентирована на повышение эффективности обнаружения факта встраивания информации в вейвлет область (область дискретного вейвлет преобразования) изображения с помощью методов машинного обучения. Данный способ встраивания информации в настоящее время является одним из наиболее перспективных с точки зрения обеспечения высокой скрытности передаваемой информации. Факторы низкой эффективности обнаружения факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений, присущей известным методам стеганодетектирования, и необходимости существенного повышения этой эффективности в современных системах стеганоанализа обосновывают **актуальность** выбранной темы диссертации.

Степень разработанности темы. В работе рассмотрено множество различных методов встраивания информации в вейвлет область неподвижных изображений с помощью стеганографии, которые в разное время предлагались различными авторами, в частности, следующими: Han-Yang Lo, Sanjeev Topiwala, Joyce Wang, I. Badescu, C. Dumitrescu, Barnali Gupta Banik, Samir K. Bandyopadhyay, Dhanraj. R. Dhotre, S.Jayasudha, Della Baby, Jitha Thomas, Gisny Augustine, Elsa George, Neenu Rosia Michael, Nicky Saxena, Gaurav Agrawal, Linta Joseph, Нума Joy и другими.

Для выявления информации, встроенной в неподвижных изображениях, существует множество различных методов стеганодетектирования, способы повышения эффективности которых разрабатывались в данной работе. Авторами этих методов, в частности, являются: M. Abolghasemi, H. Aghaeinia, K. Faez, Saeid Fazli, Maryam Zolfaghari-Nejad, Yun Q. Shi, Guorong Xuan, Chengyun Yang, Jianjiong Gao, Zhenping Zhang, Peiqi Chai, Dekun Zou, Hany Farid, Chunhua Chen, Wen Chen, Mohammad Ali

Mehrabi, Hassan Aghaeinia, Gireesh Kumar T, Jithin R, Deepa D Shankar и другие.

Также в диссертационной работе учтены результаты, полученные рядом ответственных авторов, в частности: Грибунина В.Г., Туринцева И.В., Молдовяна Н.А., Молдовяна А.А., Коржика В.И., Г. Ф. Кохановича и других.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности методов стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений. Для достижения поставленной цели решена **научная задача**, заключающаяся в разработке способов повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений на основе машинного обучения и создании метода стеганодетектирования, имеющего более высокую эффективность обнаружения факта встраивания информации в вейвлет область неподвижных изображений по сравнению с существующими методами. Научная задача декомпозируется на следующие частные задачи:

- анализ существующих методов стеганографии для встраивания информации в вейвлет область неподвижных изображений;
- определение методик оценки эффективности методов стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в неподвижные изображения;
- анализ эффективности существующих методов стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений и определение причин, приводящих к невозможности однозначно обнаружить факт подобного встраивания;
- разработка способов повышения эффективности методов стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений, основанных на использовании машинного обучения;
- разработка метода стеганодетектирования, обеспечивающего более высокую эффективность обнаружения встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений по сравнению с существующими методами.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

- разработанные способы повышения эффективности методов стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений отличаются от существующих тем, что они основаны, во-первых, на использовании взаимосвязи между параметрами областей коэффициентов, полученных с использованием различных вейвлетов, и параметрами областей коэффициентов, полученных в результате одно- и двумерного вейвлет преобразования, во-вторых, на использовании определенных коэффициентов частотной области изображения, получаемой в результате дискретного косинусного (синусного) преобразования изображения, значения которых значительно изменяются при встраивании информации в вейвлет область изображения, и в-третьих, на использовании высокой степени сходства характеристик оригинального изображения и низкочастотной LL области, которая позволяет использовать подходы стеганодетектирования пространственной области для анализа низкочастотной LL области коэффициентов;

- разработанный метод стеганодетектирования отличается от существующих тем, что он основан на использовании предложенных в диссертационной работе способов повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений, что обеспечивает более высокую эффективность обнаружения встроенной информации в областях коэффициентов LL, LH и HL вейвлет области изображения по сравнению с существующими методами стеганодетектирования.

Теоретическая и практическая значимость. Разработанные способы повышения эффективности стеганодетектирования могут быть использованы для повышения вероятности обнаружения встроенной информации в неподвижных изображениях. Разработанный в данной работе метод стеганодетектирования, основанный на использовании предложенных в работе способов, обладает более высокой эффективностью обнаружения встроенной информации в вейвлет области неподвижных изображений, что позволяет снизить вероятность реализации риска её несанкционированной утечки по каналам, основанным на встраивании информации в данную область неподвижных изображений. Использование методов стеганодетектирования, исследуемых в данной работе, в системах защиты информации, позволяет противодействовать скрытым каналам передачи информации, основанным на встраивании информации в вейвлет область неподвижных изображений.

Методология и методы исследования. В работе использовались методы теоретического, а также эмпирического исследования, аппарат вычислительной математики, аппарат и методы машинного обучения, методы системного анализа и методы проектирования и программирования.

Объектом исследования являются неподвижные изображения, содержащие встроенную с помощью стеганографии информацию в вейвлет области, которые выступают в качестве стеганоконтейнеров.

Предметом исследования являются способы повышения эффективности методов стеганодетектирования для обнаружения факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- способ повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в коэффициентах LH и HL областей вейвлет области изображения за счет использования особенностей вейвлет преобразования, в частности, взаимосвязи параметров областей коэффициентов, полученных с использованием различных вейвлетов, а также взаимосвязи параметров областей коэффициентов одно- и двумерного вейвлет преобразования;

- способ повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в коэффициентах LH и HL областей вейвлет области изображения за счет использования особенностей определенных коэффициентов частотной области изображения;

- способ повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в коэффициентах LL области вейвлет области изображения за счет использования высокой схожести LL области и исходного изображения;

- метод стеганодетектирования, основанный на комбинированном использовании предложенных способов повышения эффективности стеганодетектирования, обеспечивающий более высокую эффективность обнаружения встроенной информации в вейвлет области изображения по сравнению с существующими методами.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием апробированного математического аппарата, экспериментальной проверкой полученных результатов и представлением основных результатов диссертации в докладах на научных конференциях.

Апробация результатов. Результаты исследования докладывались на:

- Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе», Йошкар-Ола 2014.
- II Всероссийском студенческом форуме «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», 2016.
- X Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017)», 2017.
- IV, V, VI Конгрессе молодых ученых, Санкт-Петербург 2015-2017.

Публикации по теме диссертации. По материалам диссертационного исследования были опубликованы 12 работ, из них 6 работ в журналах, входящих в перечень ВАК, и 1 работа в журнале, индексируемом в Scopus.

Внедрение результатов работы:

- Санкт-Петербургский филиал Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН.
- АО «Научно-производственное объединение «Импульс».
- СПб НИУ ИТМО, учебная дисциплина «Стеганографические методы защиты информации».

Структура диссертации состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий **объем диссертации** составляет 142 страниц. В диссертации насчитывается 56 рисунков и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** указаны цель, задачи и актуальность темы диссертации, сформулированы положения, выносимые на защиту, и определена научная новизна и практическая значимость результатов диссертационного исследования.

Первая глава диссертации посвящена анализу текущего состояния дел в области стеганографии. В начале данной главы обосновывается выбор компьютерных файлов, содержащих неподвижные изображения, в качестве рассматриваемого типа контейнера для встраивания информации. Далее рассматриваются существующие методы встраивания информации с помощью стеганографии в вейвлет область неподвижных изображений и существующие методы стеганодетектирования, которые могут быть использованы для обнаружения такого встраивания, основанные на использовании статистических закономерностей или машинного обучения. В конце

данной главы показана взаимосвязь между эффективностью стеганодетектирования и вероятностью утечки информации по несанкционированному каналу связи, основанному на использовании стеганографии.

Во **второй главе** определяются методики для оценки и сравнения эффективности статистических методов стеганодетектирования и методов стеганодетектирования на основе машинного обучения. Для статистических методов стеганодетектирования предлагается использовать график доверительных интервалов, показывающий возможные соотношения количества корректно определенных стегано изображений и количества изображений, который были ошибочно определены как стегано изображения. Для оценки эффективности методов стеганодетектирования на основе машинного обучения предлагается использовать графики со следующими показателями: процент истинно отрицательных результатов (TN, корректно классифицированные оригинальные изображения), процент истинно положительных результатов (TP, корректно классифицированные стегано изображения), процент ложно отрицательных результатов (FN, некорректно классифицированные стегано изображения) и процент ложно положительных результатов (FP, некорректно классифицированные оригинальные изображения). Эти показатели позволяют оценить и сравнить эффективность методов стеганодетектирования на основе машинного обучения.

Рассматривается эффективность следующих статистических методов стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область изображения: RS-анализ, Sample pair analysis, Triples analysis и Weighted stego. Статистические методы стеганодетектирования оказываются неэффективными при обнаружении встраивания в вейвлет область, так как количество верно классифицированных стегано изображений и количество неверно классифицированных оригинальных изображений являются практически равными друг другу. На практике это означает невозможность использования данных методов для анализа изображений на предмет встраивания в область дискретного вейвлет преобразования (ДВП) изображения. Неэффективность данных методов объясняется тем, что они, в основном, разрабатывались для обнаружения встраивания в пространственную область изображения.

Производится оценка эффективности методов стеганодетектирования на основе машинного обучения. В частности, рассматривались методы, предложенные Gireesh Kumar, Hany Farid, Liu и Yun Q Shi. По результатам оценки эффективности видно, что эффективность данных методов стеганодетектирования зависит от области коэффициентов (LL, LH, HL или HH) вейвлет области изображения, в которую производилось встраивание. Наилучшие результаты получены для области HH, для которой процент верно классифицированных изображений превысил 98%. Для области LH процент верно классифицированных изображений составил 82,8%, для области HL – 87,4%, для области LL – 83,4%. Таким образом, по результатам оценки эффективности современных методов стеганодетектирования можно заключить, что существует значительная вероятность незаметно передать изображение с 20% полезной нагрузки. Очевидно, что наиболее интересными на предмет повышения эффективности стеганодетектирования выглядят области LL, LH и HL, для которых

получена более низкая вероятность обнаружения по сравнению с областью НН. Причиной низкой эффективности методов стеганодетектирования на основе машинного обучения является невозможность однозначного разделения между собой множеств оригинальных и стегано изображений в связи с тем, что используемые методами машинного обучения параметры имеют заметные области пересечения значений, что не позволяет однозначно разделить между собой оригинальные и стегано изображения.

Рассматриваются особенности естественных неподвижных изображений (пространственной, частотной и вейвлет области изображения), на предмет особенностей, которые могут быть использованы для стеганодетектирования. В частности, показывается высокая чувствительность коэффициентов, особенно высокочастотных коэффициентов, области дискретного косинусного преобразования при модификации изображения. При рассмотрении вейвлет области изображения показывается высокая схожесть между исходным изображением и низкочастотной LL данного изображения, взаимосвязь получаемых при ДВП областей коэффициентов между собой и влияние используемого вейвлета на изменение параметров вейвлет области при встраивании информации в данную область.

В **третьей главе** изложены основные результаты диссертационной работы, которые составляет три разработанных способа повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область.

Первый способ повышения эффективности стеганодетектирования основан на использовании особенностей вейвлет преобразования.

Первая особенность вейвлет преобразования заключается в том, что вейвлет, используемый при ДВП, оказывает влияние на изменение значений статистических моментов областей коэффициентов ДВП изображения при встраивании информации в область ДВП изображения.

При этом между значениями статистических моментов, получаемыми при использовании вейвлета Хаара и случайного вейвлета, существует взаимосвязь, позволяющая с помощью специально подобранного вейвлета оценить разброс значений статистических моментов для областей коэффициентов, получаемых с использованием вейвлета Хаара, что можно использовать для повышения эффективности стеганодетектирования.

Для достижения этой цели специализированный вейвлет должен удовлетворять следующим критериям:

- факт встраивания в область ДВП изображения не должен оказывать заметного влияния на значения статистических моментов областей коэффициентов, получаемых при ДВП изображения с использованием данного специализированного вейвлета;
- значения статистических моментов для областей коэффициентов, получаемых при использовании специализированного вейвлета, должны быть связаны со значениями статистических моментов для областей коэффициентов, получаемых при использовании вейвлета Хаара.

В результате определен специализированный вейвлет со следующими низко

(Lo) и высоко (Hi) частотными фильтрами:

$$Lo = \{ 0.417, 0.916, 0.011, 0.389, 0.579, 0.527, 1.007 \},$$

$$Hi = \{ 0.417, 0.916, 0.011, -0.389, 0.579, -0.527, -1.007 \}.$$

На рисунке 1 показана выявленная взаимосвязь, имеющаяся между значениями статистических моментов ЛН области, получаемой с помощью вейвлета Хаара и с помощью специализированного вейвлета.

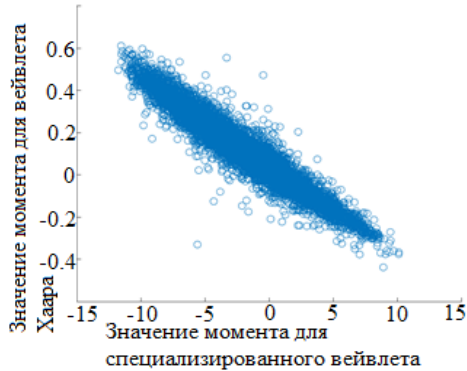


Рисунок 1 – График зависимости значения первого статистического момента ЛН области, полученной с использованием специализированного вейвлета, от статистического момента ЛН области, полученной с использованием вейвлета Хаара.

На рисунке 2 показано выявленное распределение значений статистического момента, области коэффициентов, полученной с помощью специализированного вейвлета для массива оригинальных изображений, а также для массива данных этих же изображений после встраивания полезной нагрузки в область ДВП изображения.

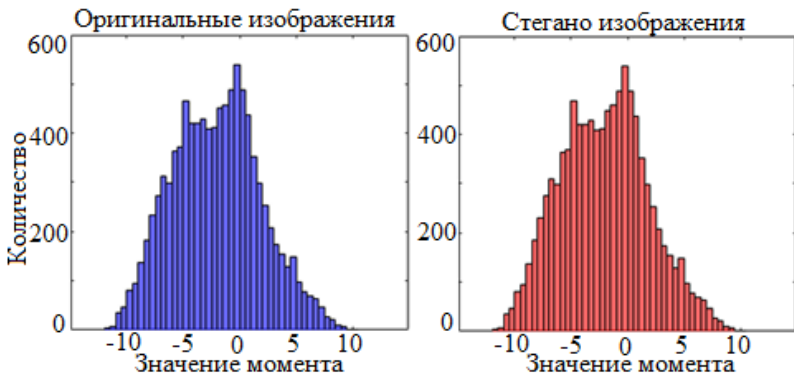


Рисунок 2 – Распределение значений статистических моментов для специализированного вейвлета.

Выявленная взаимосвязь между статистическими моментами, получаемыми

при использовании вейвлета Хаара и при использовании специализированного вейвлета, используется для оценки «погрешности» значения статистического момента для вейвлета Хаара. Данную взаимосвязь предлагается использовать для повышения качества машинного обучения и, как следствие, увеличения эффективности классификации изображений на предмет факта встраивания информации.

В результате, для повышения эффективности обнаружения встраивания в область ДВП изображения с помощью данной закономерности предлагается использовать следующий набор параметров:

- 1, 2, 3 и 4 статистические моменты, полученные для каждой из областей, получаемых при ДВП изображения с использованием вейвлета Хаара (LL, HL, LH и HH);
- 1, 2, 3 и 4 статистические моменты для областей LL, HL, LH, HH полученных при ДВП изображения с использованием специализированного вейвлета.

Предлагаемый набор параметров, полученный для тестируемого изображения, подается в качестве опорного вектора на вход машине опорных векторов, используемой в качестве метода машинного обучения, для классификации изображения на предмет наличия встроеной информации. Результатом работы машины опорных векторов является бинарная классификация изображения: оригинальное изображение или стегано изображение.

Использование вышеописанного набора параметров позволяет добиться повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроеной информации в областях коэффициентов LH и HL. В среднем повышение эффективности стеганодетектирования составило 4,46-4,91%.

Вторая особенность вейвлет преобразования заключается в том, что существует взаимосвязь между:

- значениями статистических моментов области HL двумерного ДВП изображения со статистическими моментами матрицы разностей, получаемой на основе области L одномерного ДВП;
- значениями статистических моментов области LH двумерного ДВП изображения и статистическими моментами матрицы разностей, получаемой на основе области H одномерного ДВП.

При этом встраивание информации в область HL не вносит заметных искажений в область L, а встраивание информации в область LH не вносит заметных искажений в область H.

Под матрицей разностей подразумевается массив значений, полученный по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Dif_x(X) &= X(x + 1, y) - X(x, y), \\ Dif_y(X) &= X(x, y + 1) - X(x, y), \end{aligned}$$

где X – область коэффициентов одномерного ДВП (L или H), $X(x, y)$ – коэффициент области X с координатами x и y .

На рисунке 3 приведен график зависимости значения первого статистического момента массива разностей L области от статистического момента NL области, по которому видно наличие взаимосвязи между данными двумя значениями.

Учет взаимосвязи между статистическими моментами матриц разностей одномерного и двумерного ДВП позволяет оценить «погрешность» значения статистического момента, получаемого для области коэффициентов LH и NL .

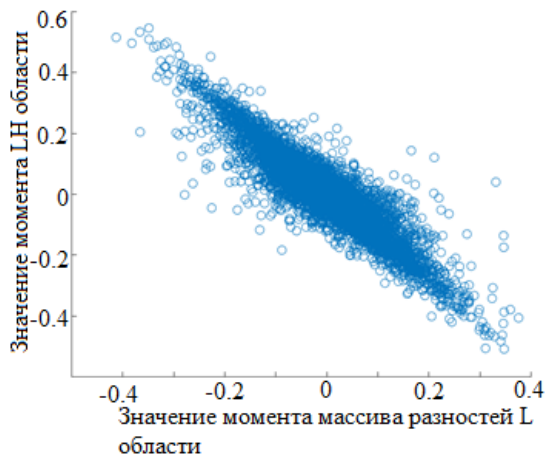


Рисунок 3 – График зависимости значения первого статистического момента массива разностей L области от статистического момента NL области.

Как следствие, добавление значений статистических моментов матрицы разностей одномерного ДВП в набор параметров, используемый для стеганодетектирования изображений, позволяет повысить эффективность классификации изображений с использованием машинного обучения. Таким образом, для повышения эффективности обнаружения встроенной информации в области ДВП с помощью данной закономерности предлагается использовать следующий набор параметров:

- 1, 2, 3 и 4 статистические моменты для областей коэффициентов LL , LH , NL , NH двумерного ДВП;
- 1, 2, 3 и 4 статистические моменты вертикальных и горизонтальных массивов разностей Dif_x и Dif_y полученных из областей L и H одномерного ДВП.

Предлагаемый набор параметров, полученный для тестируемого изображения, подается в качестве опорного вектора на вход машины опорных векторов, используемой в качестве метода машинного обучения, для классификации изображения на предмет наличия встроенной информации. Результатом работы машины опорных векторов является бинарная классификация изображения: оригинальное изображение или стегано изображение.

Использование предложенного набора параметров позволяет добиться улучшения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроенной информации в области LH и NL ДВП изображения. В среднем повышение эффектив-

ности стеганодетектирования составило 7,15-7,38%.

Второй способ повышения эффективности стеганодетектирования разработан на основании анализа влияния факта встраивания в область ДВП изображения на параметры частотной области изображения, получаемой с помощью дискретно косинусного (ДКП) или дискретно-синусного (ДСП) преобразования изображения. Изображение представляется в виде набора гармонических колебаний с разными частотами, которые разделяются на низко-, средне- и высокочастотные. Выдвинута гипотеза, что стеганографическое встраивание информации в неподвижное изображение оказывает определенное влияние на параметры гармонических колебаний, особенно средней и высокой частоты.

Для разложения изображения на набор гармонических колебаний предлагается использовать дискретно косинусное преобразование (ДКП) или дискретно синусное преобразование (ДСП), которое описывается следующими формулами:

$$K_{\cos}(x, y) = \alpha_x \alpha_y \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)x}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)y}{2N},$$

$$K_{\sin}(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} \sin \frac{\pi x m}{N+1} \sin \frac{\pi y n}{M+1},$$

при этом $0 \leq x \leq M - 1$ и $0 \leq y \leq N - 1$,

$$\alpha_x = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & \text{если } x = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & \text{если } 1 \leq x \leq M - 1 \end{cases} \quad \alpha_y = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & \text{если } y = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{если } 1 \leq y \leq N - 1 \end{cases},$$

где A_{mn} – значение пикселя изображения с координатами m и n , N и M – размер изображения в пикселях.

Разница между значениями большинства коэффициентов области ДКП между оригинальным и стегано изображением лежит в пределах от -2 до +2. В тоже время для определенных коэффициентов области ДКП (ДСП) изображения разница значений между оригинальным и стегано изображением значительно превышает данные пределы.

Коэффициенты, значения которых наиболее сильно изменяются при встраивании в область ДВП, являются «угловыми» коэффициентами, располагающимися в углах матрицы коэффициентов, получаемой при ДКП или ДСП изображения. Значительное изменение «угловых» коэффициентов области ДКП (ДСП) при встраивании информации в область ДВП изображения используется для повышения эффективности стеганодетектирования.

На рисунке 4 представлены гистограммы значений «углового» коэффициента области ДКП для оригинальных и стегано изображений, по которым видна разница между двумя данными массивами коэффициентов.

Таким образом, для повышения эффективности обнаружения факта встраивания в область ДВП в рамках данного способа предлагается использовать следующий набор параметров, состоящий из:

- 1, 2, 3 и 4 статистических моментов для областей LL, LH, HL, HH ДВП изображения;

- «угловых» коэффициентов (К (end,1), К (1,end), К (end,end)) матрицы коэффициентов, получаемые при двумерном ДКП и ДСП изображения.

Предлагаемый набор параметров, полученный для тестируемого изображения, подается в качестве опорного вектора на вход машине опорных векторов, используемой в качестве метода машинного обучения, для классификации изображения на предмет наличия встроенной информации. Результатом работы машины опорных векторов является бинарная классификация изображения: оригинальное изображение или стегано изображение.

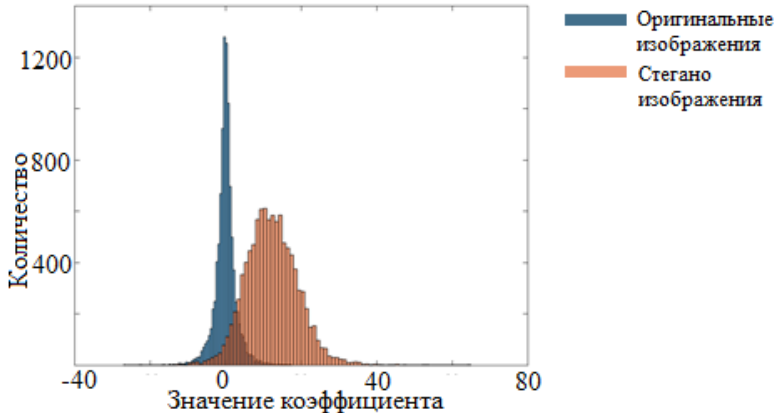


Рисунок 4 – Гистограмма значений «углового» коэффициента К (end,1) области ДКП для оригинальных изображений (синий) и для стегано изображений (оранжевый) при встраивании в НН область.

Использование вышеописанного набора параметров позволяет улучшить эффективность стеганодетектирования при встраивании информации в коэффициенты областей LH и HL. В среднем повышение эффективности стеганодетектирования составило 3,13-5,31%.

Третий способ повышения эффективности стеганодетектирования разработан на основании высокой схожести характеристик исходного изображения и низкочастотной области LL ДВП данного изображения, показанной в данной работе, что позволяет использовать для анализа LL области методы стеганодетектирования, применяемые при обнаружении встраивания в пространственную область изображения.

Для определения степени взаимосвязи между исходным изображением и LL областью, полученной при ДВП изображения, рассчитывается коэффициент корреляции k между ними по следующей формуле:

$$k = \frac{\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (IMG(x,y) - \overline{IMG}) * (W(RND(\frac{x}{2}), RND(\frac{y}{2})) - \bar{w})}{\sqrt{(\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (IMG(x,y) - \overline{IMG})^2) * (\sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (W(RND(\frac{x}{2}), RND(\frac{y}{2})) - \bar{w})^2)}}$$

где $IMG(x,y)$ – значение пикселя изображения с координатами x и y , \overline{IMG} – сред-

нее значение пикселя, $RND(x)$ – округление вверх значения x , $W(x, y)$ – значение коэффициента одной из областей ДВП (LL, LH, HL, HH) с координатами x и y , \bar{W} – среднее значение коэффициента соответствующей области ДВП.

Коэффициент корреляции k принимает значения от -1 до +1. При этом значение +1 означает положительную прямолинейную корреляцию, -1 – отрицательную прямолинейную корреляцию, а 0 – отсутствие корреляции.

На рисунке 5 приведена гистограмма значения коэффициента корреляции между изображением и его LL областью для коллекции изображений, состоящий из 10000 изображений. По гистограмме на рисунке 14 видна прямолинейная положительная корреляция между исходным изображением и его LL областью.

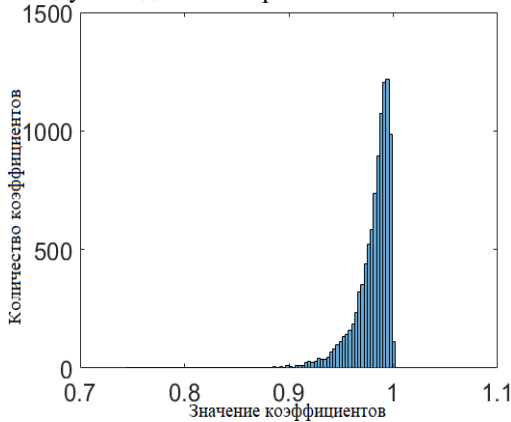


Рисунок 5 – Гистограмма коэффициентов корреляции для исходного изображения и LL области для коллекции изображений.

Высокая корреляция между исходным изображением и его LL областью позволяет использовать статистические методы стеганодетектирования пространственной области изображения для непосредственного анализа LL области.

Таким образом, для повышения эффективности обнаружения факта встраивания в область ДВП в рамках данного способа предлагается использовать следующий набор параметров:

- 1, 2, 3, 4 статистические моменты для областей LL, LH, HL, HH ДВП изображения;
- оценка объема искажений, полученная с помощью статистического метода стеганодетектирования Weighted stego при анализе области LL.

Предлагаемый набор параметров, полученный для тестируемого изображения, подается в качестве опорного вектора на вход машины опорных векторов, используемой в качестве метода машинного обучения, для классификации изображения на предмет наличия встроеной информации. Результатом работы машины опорных векторов является бинарная классификация изображения: оригинальное изображение или стегано изображение.

Использование вышеописанного набора параметров позволяет добиться улучшения эффективности стеганодетектирования при встраивании информации в коэффициенты области LL. В среднем повышение эффективности стеганодетектирования составило 9,52%.

Для получения универсального и наиболее эффективного метода стеганодетектирования целесообразно использовать разработанные способы повышения эффективности стеганодетектирования совместно.

В **четвертой главе** рассматривается разработанный метод стеганодетектирования, обеспечивающий более высокую эффективность обнаружения факта встраивания в вейвлет область изображения, основанный на комбинированном использовании предложенных в третьей главе способов повышения эффективности стеганодетектирования. Задачей данного метода является обеспечение эффективности стеганодетектирования более 90% корректно классифицированных изображений, что является оптимальной Байесовой стратегией.

В рамках данного метода для обнаружения встраивания в область ДВП неподвижных изображений предлагается использовать следующий набор параметров:

- параметры, используемые одним из наиболее эффективных из рассмотренных методов стеганодетектирования, который предложен Hany Farid;
- 1, 2, 3 и 4 статистические моменты для областей LL, HL, LH, HH, полученные в результате ДВП изображения с использованием специального вейвлета, которые предложено использовать в рамках первого способа повышения эффективности стеганодетектирования;
- 1, 2, 3 и 4 статистические моменты, полученные для вертикальных и горизонтальных массивов разностей Dif_x и Dif_y рассчитанных для областей L и H, полученных при одномерном ДВП изображения, которые предложено использовать в рамках первого способа повышения эффективности стеганодетектирования;
- «угловые» коэффициенты (K (end,1), K (1,end), K (end,end)) матрицы коэффициентов, получаемые при двумерном ДКП и ДСП изображения, которые предложено использовать в рамках второго способа повышения эффективности стеганодетектирования ;
- значение объема искажений, полученное с помощью статистического метода стеганодетектирования, которое предложено использовать в рамках третьего способа повышения эффективности стеганодетектирования.

Предлагаемый набор параметров, полученный для тестируемого изображения, подается в качестве опорного вектора на вход машины опорных векторов, используемой в качестве метода машинного обучения, для классификации изображения на предмет наличия встроенной информации. Результатом работы машины опорных векторов является бинарная классификация изображения: оригинальное изображение или стегано изображение.

Результаты проведенной сравнительной оценки эффективности предложенного метода представлены на рисунке 6. По графикам, представленным на рисунке 6, видно, что метод стеганодетектирования, основанный на использовании вышеописан-

санного набора параметров, позволяет добиться существенного повышения эффективности обнаружения встраивания в вейвлет область изображения.

В среднем повышение эффективности стеганодетектирования составило:

- при встраивании в область LL на 9,52%.
- при встраивании в область LH на 9,73;
- при встраивании в область HL на 7,85%.

В результате, разработанный метод имеет эффективность стеганодетектирования при обнаружении встраивания в вейвлет область изображения, превышающую 90% для всех возможных областей встраивания, что отвечает требованиям современных систем стеганоанализа.

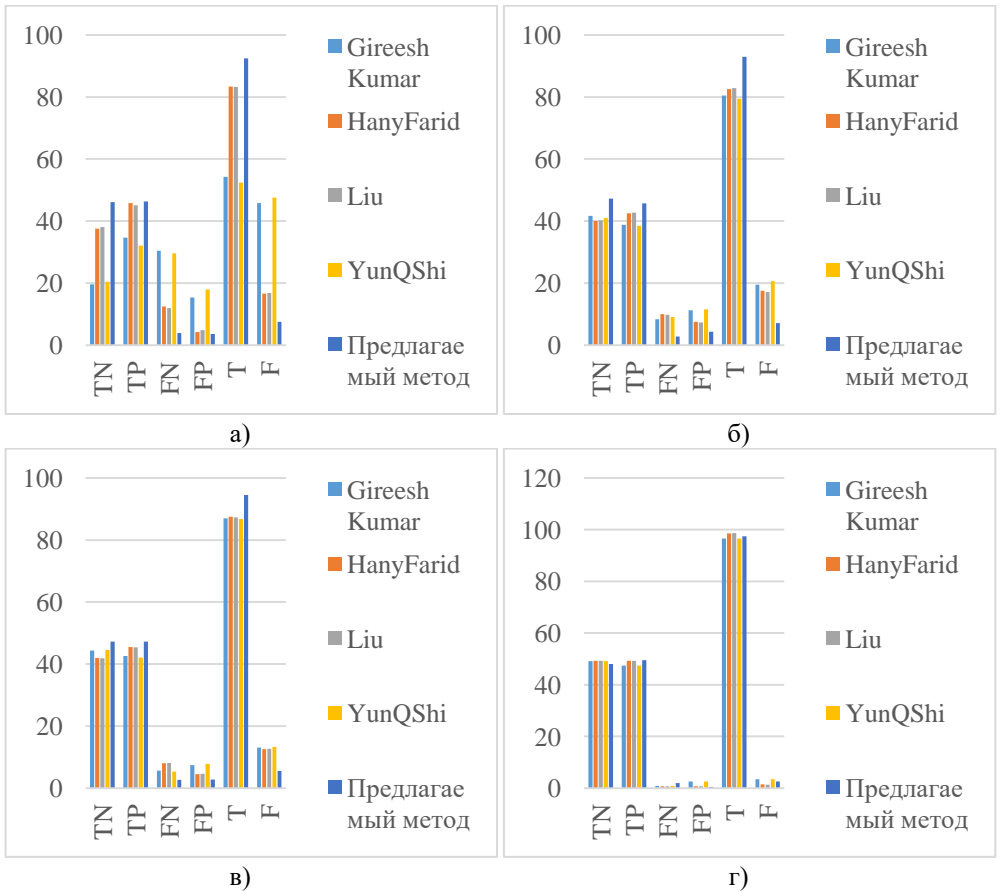


Рисунок 6 – График соотношения TN, TP, FN, FP, T, N с объемом полезной нагрузки в 20% для а) LL области, б) LH области, в) HL области, г) HH области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена важная научная задача по разработке способов повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении встроеной информации в вейвлет области неподвижных изображений на основе машинного обучения и созданию метода стеганодетектирования, имеющего более высокую эффективность обнаружения факта встраивания информации в вейвлет область неподвижных изображений по сравнению с существующими методами, при решении которой получены следующие основные результаты, составляющие **ИТОГИ** исследования:

1. Проведен анализ существующих методов стеганографии для встраивания информации в вейвлет область неподвижных изображений и выявлены основные способы встраивания информации в вейвлет область неподвижных изображений.

2. Определены методики оценки эффективности методов стеганодетектирования при обнаружении встраивания в неподвижные изображения, позволяющие наглядно оценить и сравнить между собой методы стеганодетектирования.

3. Проведен анализ эффективности существующих методов стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений и определены причины, приводящие к невозможности однозначного обнаружения факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений.

4. Разработаны три способа повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений на основе машинного обучения:

- способ повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений за счет использования особенностей вейвлет преобразования, в частности взаимосвязи параметров областей коэффициентов, полученных с использованием различных вейвлетов, а также взаимосвязи параметров областей коэффициентов одно- и двумерного вейвлет преобразования, позволяющий повысить эффективность обнаружения факта встраивания в высокочастотные коэффициенты вейвлет области изображения;

- способ повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений за счет использования особенностей частотной области изображения позволяющий повысить эффективность обнаружения факта встраивания в высокочастотные коэффициенты вейвлет области изображения;

- способ повышения эффективности стеганодетектирования при обнаружении факта встраивания в вейвлет область неподвижных изображений за счет использования сходства характеристик низко частотной области коэффициентов вейвлет области изображения и самого изображения позволяющий повысить эффективность обнаружения встраивания в низкочастотные коэффициенты вейвлет области изображения.

5. Разработан метод стеганодетектирования, основанный на использовании разработанных в данной работе способов повышения эффективности стеганодетек-

тирования, обеспечивающий высокую эффективность обнаружения встраивания в вейвлет область неподвижных изображений, в частности в области коэффициентов LL, LH, HL, по сравнению с существующими методами стеганодетектирования. Использование данного метода в системах стеганодетектирования позволяет снизить риск утечки информации по каналам связи, основанным на встраивании информации в вейвлет область неподвижных изображений.

Результаты работы **рекомендуется** использовать для повышения эффективности методов стеганодетектирования при обнаружении встроеной информации в вейвлет области неподвижных изображения при разработке систем стеганоанализа, а также для разработки усовершенствованных методов стеганодетектирования.

Перспективы дальнейшей разработки. Дальнейшие исследования по повышению эффективности стеганодетектирования с помощью методов машинного обучения связаны с двумя направлениями:

- поиск дополнительных параметров, позволяющих более точно оценить значения параметров оригинального изображения и таким образом с большей вероятностью обнаруживать изменение данных параметров при встраивании информации, что позволит еще более повысить эффективность стеганодетектирования;
- поиск дополнительных параметров, значения которых заметно изменяются при встраивании информации в неподвижное изображение, что позволит более точно различать между собой оригинальные и стегано изображения и, соответственно, еще более повысить эффективность стеганодетектирования.

Соответствие паспорту специальности. Положения, выносимые на защиту, соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность:

- «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».

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, изданные в научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. Сивачев А.В. Повышение эффективности стеганоанализа в области ДВП изображения посредством анализа параметров частотной области изображения // Кибернетика и программирование. — 2018. - № 2. - С.29-37. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_25564.html.
2. Сивачев А.В. Эффективность статистических методов стеганоанализа при обнаружении встраивания в вейвлет область изображения [Текст] // Вопросы кибербезопасности. – 2018. – № 1. – С. 72-78.
3. Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В. Повышение точности мето-

- дов стеганоанализа путем оптимизации параметров вейвлет-преобразования [Текст] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 113–121.
4. Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Башмаков Д.А. Эффективность стеганоанализа на основе методов машинного обучения [Текст] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2017. – № 3. – С.457-466.
 5. Сивачев А.В., Михайличенко О.В., Прохожев Н.Н., Башмаков Д.А. Повышение точности стеганоанализа в области ДВП путем использования взаимосвязи между областями двумерного и одномерного разложений [Текст] // Кибернетика и программирование – 2017. – № 2. – С. 78-87. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_22412.html.
 6. 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 [Текст] // Кибернетика и программирование. — 2018. – № 1. – С.64-72. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_24919.html.

Статьи, изданные в сборниках трудов научных конференций, индексируемых Scopus:

1. 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.

Статьи, изданные в других научных журналах и изданиях:

1. Сивачев А.В., Башмаков Д.А., Прохожев Н.Н. Исследование влияния используемого типа вейвлетов на эффективность обнаружения встраивания в область ДВП изображения //VI Конгресс молодых ученых (КМУ-2017). Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/5001/issledovanie_vliyaniya_ispolzuemogo_tip_a_veyvletov_na_effektivnost_obnaruzheniya_vstraivaniya_v_oblast_dvp_izobrazheniya.htm, своб.
2. Сивачев А.В., Башмаков Д.А., Михайличенко О.В. Исследование эффективности нейронных сетей в задаче детектирования скрытого канала передачи информации в вейвлет области //V Конгресс молодых ученых (КМУ-2016). Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/3885/issledovanie_effektivnosti_neyronnyh_setey_v_zadache_detektirovaniya_skrytogo_kanala_peredachi_informacii_v_veyvlet_oblasti.htm, своб.
3. Сивачев А.В., Башмаков Д.А., Михайличенко О.В. Влияние предварительной

обработки контейнера фильтрами на точность статистического стеганоанализа //IV Конгресс молодых ученых (КМУ-2015). Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://research.ifmo.ru/file/stat/252/trudy_4vkmu.pdf, своб. – С. 364-368.

4. Сивачев А.В., Прохожев Н.Н. Применение статистических методов пространственной области стеганоанализа для обнаружения встраивания информации в область ДВП изображения [Текст] // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России – 2016. – № 4. – С.128-131.
5. Сивачев А.В., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Башмаков Д.А., Коробейников А.Г. Исследование эффективности применения статистических алгоритмов количественного стеганоанализа в задаче детектирования скрытых каналов передачи информации [Текст] // Программные системы и вычислительные методы - 2015. - № 3. - С. 281-292.