

На правах рукописи

МИТЕКИН Виталий Анатольевич

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
ЦИФРОВОГО СТЕГОАНАЛИЗА  
ТЕКСТУРИРОВАННОЙ ПЕЧАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Самара - 2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ) на кафедре геоинформатики и в Учреждении Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН.

**Научный руководитель** доктор физико-математических наук  
**Чернов Владимир Михайлович.**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук  
**Александр Григорьевич Храмов,**

кандидат физико-математических наук  
**Осипов Михаил Николаевич.**

**Ведущая организация:** ГОУ ВПО Омский государственный технический университет (г. Омск).

Защита планируется 16 октября 2009 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.05, созданном при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева», по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан 15 сентября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор

А.А. Калентьев

Диссертационная работа посвящена разработке и экспериментальному исследованию методов цифрового стегоанализа, позволяющих обнаруживать и извлекать из печатного изделия защитную информацию, встроенную путем визуально неразличимого искажения фоновой текстуры цифровых изображений, выводимых на печать.

### **Актуальность темы**

Защита документов от подделки и копирования и задачи анализа подлинности защищенных документов являются массовыми задачами, возникающими в деятельности правоохранительных органов, экспертных организаций, органов нотариата и т.д.

За последние десятилетия все более широкое распространение цифровых печатных устройств привело к появлению значительного числа вычислительных методов и специализированного аппаратного обеспечения, предназначенных для защиты от копирования и подделки специальной печатной продукции (ценных бумаг, удостоверений личности и т.д.), воспроизводимой с использованием таких устройств. В частности, широкое распространение получили способы защиты печатной продукции от подделки и копирования, основанные на встраивании в печатную продукцию защитной информации путем визуально неразличимого искажения фоновой текстуры<sup>1</sup> цифровых изображений, выводимых на печать. В качестве искажаемой при встраивании фоновой текстуры могут выступать как элементы декоративного оформления печатного изделия, так и текстуры, синтезируемые при растривании полутоновых изображений для последующего вывода данных изображений на печать в виде, пригодном для визуального восприятия. Защитную информацию, встраиваемую путем искажения фоновой текстуры цифровых изображений, далее будем называть текстурными водяными знаками (текстурными ВЗ, ТВЗ). В диссертационной работе рассматриваются и исследуются исключительно текстурные ВЗ.

Актуальность работы определяется двумя основными факторами. Во-первых, несмотря на значительное число теоретических работ и запатентованных технологических решений задачи встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия (крупнейшими патентодержателями являются Digimarc Corp., IBM Corp., Fuji Xerox Ltd., Xerox Corp., NEC Corp.), надежность данных решений в контексте решения задачи защиты от подделки и копирования исследована и описана в открытых источниках в меньшей степени. Отчасти это объясняется тем, что патентовладельцы, предоставляющие на рынок конкретные технологические решения и программные продукты, не заинтересованы в публикации работ, посвященных исследованию надежности предлагаемых решений и описанию методов несанкционированного обнаружения и извлечения текстурных ВЗ.

---

<sup>1</sup> Под текстурой в рамках данной диссертации подразумевается изображение, полученное путем комбинирования (в том числе путем применения операций сдвига, поворота, масштабирования и т.д.) однотипных, визуально схожих элементов значительно меньшего, чем само изображение, размера (D.H. Ballard, C. M. Brown. Computer Vision \\\ Prentice-Hall publishing, 1982).

Во-вторых, задачи извлечения и обнаружения ТВЗ являются частными случаями известной проблемы цифрового текстурного анализа, а именно, проблемы обнаружения дефектов текстуры цифрового изображения. В разработку достаточно универсальных подходов и методов решения различных конкретных задач в рамках этой общей проблемы значительный вклад внесли как российские (советские), так и зарубежные ученые (R.Naralick, D. Chetverikov, Г.Л. Гимельфарб, В.В. Моттль, В.М. Чернов и др.)

Специфическим ограничением по отношению к общей задаче определения дефектов текстур, принятым в диссертационной работе, является тот факт, что предметная постановка задачи предполагает наличие достаточно жестких требований к характеру искажений текстуры (устойчивость по отношению к процессам печати/сканирования, возможность изготовления простых оптических детекторов и интерпретируемости ТВЗ для законного пользователя и/или эксперта и т.д.). Следует отметить, что дефекты текстур, возникающие при встраивании ТВЗ, как правило, не описываются линейными аддитивными моделями.

Кроме того, на данный момент не существует общепринятой модели стеганографической системы, предназначенной для встраивания информации в печатные изделия, что также затрудняет исследование существующих методов встраивания текстурных ВЗ.

Анализ существующих (описанных в научных публикациях и патентных заявках) методов встраивания текстурных ВЗ позволил выделить пять классов методов встраивания, наиболее применимых на практике, которые и явились объектом исследования в диссертационной работе. Этот анализ, а также учет специфики того или иного метода встраивания, позволили определить цель и задачи диссертационного исследования.

**Целью работы** является разработка численных методов, алгоритмов и создание программного комплекса цифрового стегоанализа текстурированной печатной продукции, позволяющих обнаруживать и извлекать из печатного изделия ТВЗ в условиях априорной неопределенности об конкретном использованном методе встраивания ТВЗ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить последовательно ряд задач, что определило структуру и содержание диссертации.

#### **Задачи диссертационной работы**

1. Анализ существующих методов встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия.
2. Построение математической модели стеганографической системы, осуществляющей встраивание текстурных ВЗ рассмотренных классов в печатные изделия
3. Разработка информационной технологии стегоанализа печатных изделий.
4. Экспериментальное исследование эффективности разработанных методов обнаружения и извлечения ВЗ, а также устойчивости разработанных методов к искажениям, вносимым в изображение в результате его печати и последующего сканирования.
5. Разработка программного обеспечения, позволяющего осуществлять в автоматизированном режиме обнаружение и извлечение текстурных ВЗ из отсканированных печатных изделий, а также приближенно вычислять

численные характеристики стеганографического ключа, использованного для встраивания данного ВЗ.

#### **Методы исследования.**

В диссертационной работе используются методы цифровой стеганографии, теории вероятностей и статистического анализа, теории цифровой обработки сигналов, теории распознавания образов.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Предложена новая математическая модель стеганографической системы, осуществляющей встраивание текстурных ВЗ в печатные изделия.
2. Разработана модифицированная схема технологического процесса стегоанализа, учитывающая особенности стегоанализа отсканированных печатных изделий.
3. Разработан алгоритм предобработки изображения-контейнера, позволяющий обнаруживать и выделять растринированные области отсканированного печатного изделия.
4. Разработаны новые методы определения численных характеристик неизвестного стеганографического ключа, обнаружения ТВЗ и его извлечения из отсканированных печатных изделий.

**Практическая значимость работы** состоит в разработке и исследовании эффективности методов стегоанализа, включая методы вычисления неизвестного стеганографического ключа, обнаружения и извлечения из отсканированных печатных изделий текстурных ВЗ, встроенных с использованием существующих (описанных в научных публикациях и патентных заявках) методов встраивания. Практическую ценность также представляют представленная в главе 2 общая технологическая схема стегоанализа и реализованное на ее основе программное обеспечение, позволяющее осуществлять автоматизированное применение методов стегоанализа печатных изделий.

#### **Апробация работы**

Основные результаты диссертации докладывались на 5 международных, всероссийских и региональных научных конференциях:

- VII Международной Петрозаводской конференции "Вероятностные методы в дискретной математике", г. Петрозаводск, 2008
- IX Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике, г. Кисловодск, 2008
- 8-й международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии», г. Нижний Новгород, 2007
- 9-й международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии», г. Нижний Новгород, 2008
- VIII международной научно-технической конференции «Распознавание-2008», г. Курск, 2008

Исследования по теме диссертации поддерживались РФФИ (проект № 09-01-00511а, проект № 07-01-96612-р\_Поволжье\_а)

## **На защиту выносятся следующие результаты**

1. Математическая модель стеганографической системы, осуществляющей встраивание текстурных ВЗ в печатные изделия, включающая:
  - математическую модель представления в двухкомпонентной форме изображения-контейнера, предназначенного для встраивания текстурного ВЗ и последующего вывода на цифровое печатное устройство.
  - обобщенный алгоритм встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия
2. Информационная технология стегоанализа печатных изделий, включающая:
  - алгоритм предварительной обработки изображения-контейнера, позволяющий обнаруживать и выделять области отсканированного печатного изделия, предположительно содержащие встроенный текстурный ВЗ.
  - методы стегоанализа, включая методы определения неизвестного стеганографического ключа, обнаружения и извлечения из отсканированных печатных изделий текстурных ВЗ.
3. Результаты экспериментального исследования эффективности разработанных методов обнаружения и извлечения ВЗ, а также устойчивости разработанных методов к искажениям, вносимым в изображение в процессе печати и последующего сканирования.

## **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 4 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией.

Ряд представленных работ написан в соавторстве. В диссертацию включены только результаты, полученные лично автором.

## **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа содержит 142 страницы текста, 37 рисунков, 8 таблиц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, составляющего 114 наименований, и одного приложения.

## **ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи. Проведен анализ текущего состояния проблемы стеганографического анализа и исследования стеганографической стойкости методов встраивания текстурных ВЗ в полиграфическую продукцию.

**Первая глава** посвящена исследованию существующих методов встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия и разработке математической модели стеганографической системы встраивания текстурного ВЗ в цифровое изображение, выводимое на печать. Модель представления изображения-контейнера, предназначенного для встраивания текстурного ВЗ и последующего вывода на печать, разработана на основе существующих моделей человеческого зрения (Rohaly, Ahumada, Watson, 1997; Farrell, 1999) и учитывает специфические свойства стеганографических систем, использующих печатное изделие в качестве канала

передачи данных. Показано, что бинарное цифровое изображение-контейнер  $I$ , предназначенное для встраивания текстурного ВЗ и последующего вывода на печатное устройство с известными параметрами может быть представлено в виде суммы двух компонент: «визуально избыточной» компоненты  $I_{high}$ , модифицируемой при встраивании текстурного ВЗ, и «визуально значимой»  $I_{low}$ , искажения которой в результате встраивания должны быть минимальными.

Разделение цифрового изображения-контейнера  $I$  размером  $N \times N$  пикселей, выводимого на печать, на компоненты  $I_{low}$  и  $I_{high}$  производится путем применения к изображению  $I$  низкочастотного фильтра с частотой среза  $\omega_{max} = N / d_{пикс}$ , где

$$d_{пикс} = L \cdot \operatorname{tg}(r_{max}^{-1}) / d_{точка},$$

$r_{max}$  - вычисляемая на основе существующих моделей зрительного восприятия приближенная оценка максимальной угловой частоты (в линиях/градус) отличимого от фона объекта (растровой точки),  $L$  - расстояние, с которого печатное изделие будет предположительно наблюдаться (в мм),  $d_{точка}$  - линейный размер (в мм) пикселя исходного цифрового изображения при его выводе на печать (см. рис 1).

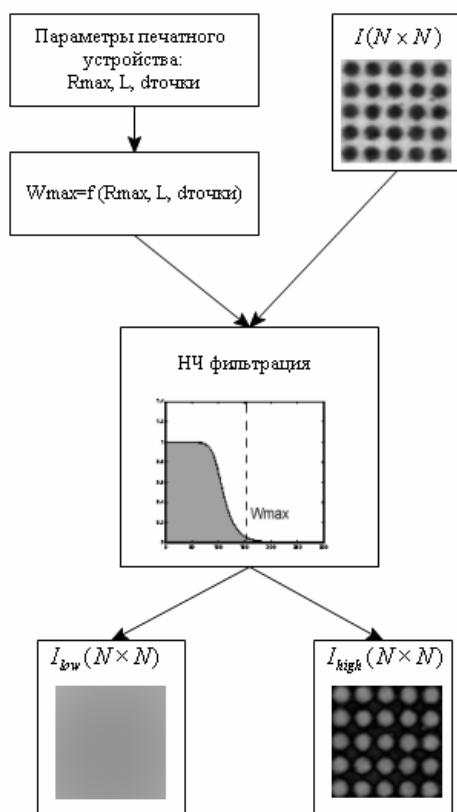


Рисунок 1 – Модель двухкомпонентного представления изображения-контейнера, предназначенного для встраивания текстурного ВЗ и последующего вывода на печатное устройство

На основе представленной модели представления изображения-контейнера разработан обобщенный алгоритм встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия, учитывающий требование визуальной неразличимости встроенного текстурного ВЗ.

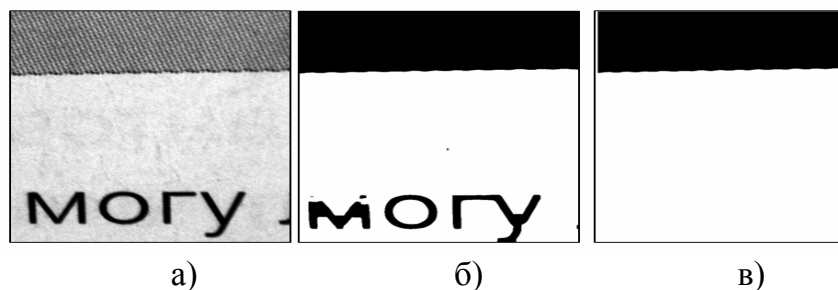
Показано, что рассмотренные в работе существующие методы встраивания текстурных ВЗ являются частными случаями этого обобщенного алгоритма.

В главе 1 и приложении 1 рассмотрены также результаты проведенного анализа запатентованных методов встраивания ТВЗ, на основе которых выделены пять групп методов встраивания, наиболее применимых на практике, т.е. определен объект дальнейшего исследования.

**Вторая глава** посвящена разработке информационной технологии стегоанализа печатных изделий.

В разделе 2.1 рассмотрена схема технологического процесса стегоанализа, разработанная с учетом специфики стегоанализа полиграфической продукции и представляющая собой последовательность следующих этапов: определение предполагаемого метода встраивания, предобработка изображения-контейнера, приближенное вычисление стеганографического ключа, извлечение ВЗ, обнаружение (подтверждение наличия) ВЗ.

В разделе 2.2 приводится обоснование предлагаемого алгоритма предобработки изображения-контейнера. Показано, что такая предобработка позволяет выделять области, предположительно содержащие встроенный ТВЗ (в рассматриваемом случае – растрингованные области печатного изделия), и тем самым позволяет снизить вычислительные затраты на последующий стегоанализ и повысить его результативность. В разделе 2.2. разработан двухэтапный алгоритм предобработки, лишенный большинства недостатков, присущих существующим алгоритмам выделения растрингованных областей, и что наиболее критично, обладающий большей универсальностью по отношению к возможным параметрам растрингования изображения. Пример работы представленного двухэтапного алгоритма приведен на рис. 2.



*Рисунок 2 – Изображение «Каскад». а) исходное изображение, б) результат обнаружения областей после выполнения 1 этапа алгоритма предобработки в) результат обнаружения растрингованных областей после выполнения 2 этапа алгоритма предобработки(растрингованные области показаны черным цветом)*

В разделе 2.3 для каждого из рассматриваемых в диссертации групп методов встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия представлены методы стегоанализа, разработанные на основе новой, предложенной в разделе 2.1, технологической схемы процесса стегоанализа. Каждый из методов был разработан с учетом типа и параметров искажений, вносимых в изображение-контейнер, специфичных для конкретного исследуемого класса методов встраивания текстурных ВЗ. Каждый из разработанных методов стегоанализа состоит, согласно представленной в разделе 2.1 общей технологической схемы процесса стегоанализа, из следующей последовательности этапов:



- 1) приближенное вычисление численных характеристик ключа;
- 2) извлечение ВЗ;
- 3) обнаружение(подтверждение наличия) ВЗ.

**Приближенное вычисление ключа**, использованного при встраивании ЦВЗ классов 1,2,4,5, в рамках разработанного метода стегоанализа реализовано путем текстурного анализа изображения-контейнера и вычисления шаблонов текстур, использованных для встраивания бинарного текстурного ТВЗ.

Для вычисления шаблонов текстур, использованных для встраивания ТВЗ, исходное изображение-контейнер  $I$  разбивается на  $N$  прямоугольных непересекающиеся фрагментов  $I^k$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$  и для каждого из фрагментов вычисляется его визуально избыточная компонента  $I_{high}^k$  согласно представленной в разделе 1.3 модели представления изображения-контейнера. Далее, для всех возможных пар фрагментов  $I_{high}^j$  и  $I_{high}^i$  вычисляется мера сходства, в качестве которой выступает максимум взаимно-корреляционной функции  $NCF_{high}(i, j)$ , и, путем попарного кластерного анализа множества фрагментов  $I^k$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ , вычисляются шаблоны текстур, использованные для встраивания бинарного текстурного ТВЗ.

Пример найденных шаблонов текстур, использованных в качестве ключа при встраивании ТВЗ, приведен на рис. 3.

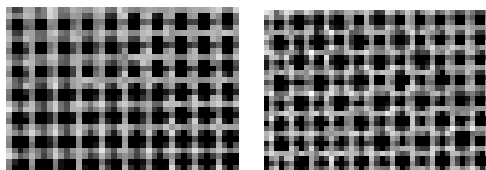


Рисунок 3 – Пример шаблонов текстур, использованных для встраивания бинарного ТВЗ

**Извлечение текстурного ВЗ** классов 1,2,4,5 производится на основе вычисления взаимно-корреляционной функции между одним из найденных шаблонов текстур и изображением-контейнером. Показано что визуализации полученного корреляционного поля действительно является извлеченным изображением ТВЗ (рис. 4)

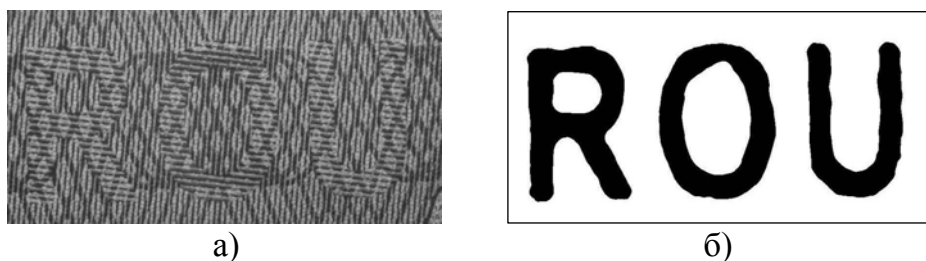


Рисунок 4 – Изображение «Виза» а) исходное изображение отсканированного печатного изделия со встроенным ВЗ класса 1 б) результат применения метода стегоанализа (извлечение ВЗ)

Для обнаружения (подтверждения наличия) ВЗ классов 1,2,4,5 используется численная мера  $\mathcal{G}$  различия найденных шаблонов текстур в «визуально значимой» частотной области как соотношение

$$\mathcal{G} = \frac{NMSE(P_{1,low}, P_{2,low})}{NMSE(P_1, P_2)},$$

где  $NMSE(\cdot)$  - нормированное среднеквадратичное отклонение,  $P_1, P_2$  - найденные на этапе вычисления ключа шаблоны текстур,  $P_{1,low}, P_{2,low}$  - визуально значимые компоненты найденных шаблонов текстур.

**Приближенное вычисление ключа**, использованного при встраивании ЦВЗ класса 3, в рамках разработанного метода стегоанализа осуществляется на основе вычисления параметров периодической структуры раstra на изображении-контейнере. Параметры  $T$  (период),  $\varphi$  (угол между горизонталью и параллельными линиями раstra) периодической структуры изображения-контейнера  $I(N_1 \times N_2)$  размера  $N_1 \times N_2$  пикселей вычисляются согласно соотношениям

$$\operatorname{tg} \varphi = T_1 / T_2 = (N_1 \cdot v_2) / (N_2 \cdot v_1), \quad T = (v_1^2 / N_1^2 + v_2^2 / N_2^2)^{-1/2}$$

где  $(v_1, v_2)$  - координаты локального экстремума на модуле дискретного Фурье-спектра изображения-контейнера, соответствующего опорному вектору периодической текстуры (Chetverikov, Hanbury, 2001) (размеры Фурье-спектра в отсчетах равны размерам изображения-контейнера в пикселях).

Структура бинарного изображения-ключа с заданными параметрами  $T, \varphi$  представлена на рис 5

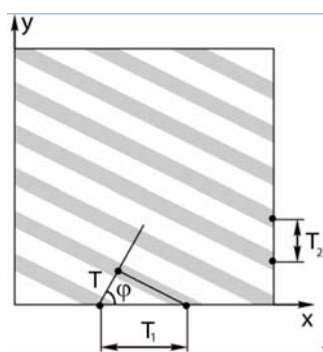


Рисунок 5 – Структура бинарного изображения-ключа с заданными параметрами  $T, \varphi$

**Извлечение текстурного ВЗ** класса 3 производится путем синтеза бинарного изображения-ключа с заданными параметрами периодической структуры и последующего попиксельного умножения изображения-контейнера на изображение-ключ. Показано, что изображение, полученное в результате данных операций, действительно является извлеченным изображением ТВЗ (рис. 6).

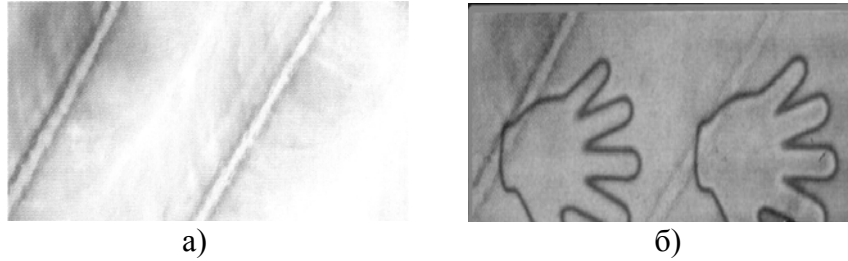


Рисунок 6 – Изображение «Лотерея» а) исходное изображение отсканированного печатного изделия со встроенным текстурным ВЗ класса 3 б) результат применения метода стегоанализа (извлечение ВЗ)

Для **обнаружения (подтверждения наличия) ВЗ** класса 3 вводится построенная на основе рассмотренной в разделе 1.3 модели человеческого зрения численная мера субъективного качества изображения  $Q$ , а именно, отношение общего контраста изображения-контейнера и контраста его визуальнo значимой компоненты:

$$Q = \frac{\max_p(W(n, m)) - \min_{1-p}(W(n, m))}{\max_p(W_{low}(n, m)) - \min_{1-p}(W_{low}(n, m))}$$

где  $\min_{1-p}$  и  $\max_p$  - соответствующие квантили гистограммы изображения,  $W(n, m)$  - извлеченное псевдобинарное изображение ТВЗ,  $W_{low}(n, m)$  - визуальнo значимая компонента извлеченного изображения ТВЗ. В работе обосновывается выбор значения параметра  $p = 0,95$

В **третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования эффективности разработанных методов стегоанализа.

В разделе 3.1 рассмотрена математическая модель искажающей системы "принтер-сканер", используемая при проведении экспериментальных исследований. В качестве параметров модели используются  $\sigma_s$  - параметр гауссоиды, характеризующий степень расфокусировки (гауссовского размытия) исходного изображения, и  $\sigma_\xi$  - среднеквадратичное отклонение аддитивного белого гауссовского шума, накладываемого на расфокусированное изображение. Для ряда печатных устройств показана адекватность данной модели и произведена оценка параметров модели. Оценка параметров модели для конкретного печатного устройства производилась путем печати, последующего сканирования и сравнительного анализа «эталонного» изображения и заданной структуры.

В разделе 3.2 описана мера  $Q_{ext}$  субъективного качества извлеченного ВЗ, являющаяся модификацией известной численной меры визуальнo значимых различий двух изображений (Landy, 1994), позволяющая оценить способность наблюдателя визуальнo отличить извлеченный ВЗ от исходного:

$$Q_{ext} = 1 - \frac{\sum_{m \in [1, M]} \sum_{n \in [1, N]} \left( \frac{W_{low}(n, m) - W'_{low}(n, m)}{255} \right)^2}{N \cdot M},$$

где  $W$  - исходное бинарное цифровое изображение-ВЗ, размера  $N \times M$  пикселей, приведенное к диапазону яркостей  $[0..255]$ ;  $W'$  - извлеченное полутонное

изображение-ВЗ, размера  $N \times M$  пикселей, приведенное к диапазону яркостей [0..255] путем линейного контрастирования;  $W_{low}, W'_{low}$  - низкочастотные «визуально значимые» компоненты изображений  $W$  и  $W'$ .

В разделе 3.3. приведены результаты сравнения субъективного качества извлеченного ВЗ, для случаев извлечения разработанными методами стегоанализа и методами с известным разработчику ключом. Также в разделе 3.3. путем компьютерного моделирования при различных значениях параметров  $\sigma_s$  и  $\sigma_\xi$  модели искажений оценено влияние искажений печати и сканирования на субъективное качество извлеченного ВЗ. Для проведения исследования использовались выборки синтезированных изображений-контейнеров с известным встроенным ВЗ, .

Результаты экспериментальной оценки качества извлечения ВЗ приведены в Таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты экспериментальной оценки качества извлечения ВЗ методами стегоанализа при различных значениях параметров искажающей системы

Класс ВЗ	Показатель качества извлечения ВЗ $Q_{ext}$ ( $\sigma_s=0$ )	Среднее изменение показателя качества при фиксированном $\sigma_s$ , %					Максимальное изменение показателя качества, %
		$\sigma_s=0.5$	$\sigma_s=1$	$\sigma_s=1.5$	$\sigma_s=2$	$\sigma_s=2.5$	
1	0,97	0,00	0,04	0,04	0,28	6,72	7,70
2	0,96	0,02	0,04	0,09	0,10	0,19	0,38
3	0,93	0,09	0,11	0,24	0,46	0,46	4,85
4	0,84	0,19	0,48	1,09	1,50	2,32	3,30
5	0,9	0,1	0,12	0,14	0,19	0,26	3,05

Таблица 2 – Общие результаты экспериментальной оценки качества извлечения ВЗ без использования методов стегоанализа при различных значениях параметров искажающей системы

Класс ВЗ	Показатель качества извлечения ВЗ $Q_{ext}$ ( $\sigma_s=0$ )	Среднее изменение показателя качества при фиксированном $\sigma_s$ , %					Максимальное изменение показателя качества, %
		$\sigma_s=0.5$	$\sigma_s=1$	$\sigma_s=1.5$	$\sigma_s=2$	$\sigma_s=2.5$	
1	0,96	0,00	0,02	0,02	0,2	3,4	5,5
2	0,97	0,02	0,02	0,04	0,07	0,1	0,24
3	0,96	0,06	0,11	0,22	0,17	0,76	3,35
4	0,86	0,1	0,34	1,0	1,50	2,32	3,30
5	0,91	0,01	0,1	0,14	0,16	0,2	2,05

Полученные в ходе вычислительного эксперимента результаты позволяют сделать вывод о малой чувствительности исследованных методов извлечения ВЗ по отношению к параметрам искажающей системы "принтер-сканер".

Результаты проведенного эксперимента также показывают, что показатели качества извлеченного ВЗ, полученные при использовании методов стегоанализа (таблица 1), сравнимы с аналогичными показателями, полученными при извлечении ВЗ с известным разработчику стеганографическим ключом (т.е. без использования разработанных в главе 2 методов стегоанализа, таблица 2). Кроме того, полученные результаты позволяют утверждать, что на практике снижение показателя качества извлеченного изображения ТВЗ обусловлено в большей степени влиянием искажающей системы «принтер-сканер» (параметры которой, в большинстве случаев, неизвестны конечному пользователю), чем использованием методов стегоанализа для извлечения ВЗ.

В разделе 3.4 приведены результаты экспериментального исследования эффективности обнаружения ВЗ разработанными методами стегоанализа. Для проведения исследования использовались выборки синтезированных изображений-контейнеров, содержащие равное количество изображений со встроенным ВЗ данного класса и изображений без ВЗ. В результате исследования были получены следующие показатели эффективности обнаружения: для ВЗ всех классов выборочная оценка вероятности ошибки первого рода равна  $P_{10}=0.025$  при значении выборочной оценки вероятности ошибки второго рода  $P_{01}=0.075$ .

Полученные результаты позволяют утверждать, что эффективность разработанных методов стегоанализа при обнаружении ВЗ заданных классов является достаточной для практического применения в задачах стегоанализа и для оценки надежности методов встраивания ВЗ в печатные изделия.

В разделе 3.5 приведены результаты экспериментального исследования эффективности обнаружения растрированных областей. Для проведения исследования использовалась выборка, включающая 50 синтезированных растрированных изображений, и 50 синтезированных бинарных элементов, содержащих прочие элементы растровой печати (текст, схемы и т.д.). В результате исследования были получены следующие результаты: выборочная оценка вероятности ошибки первого рода равна  $\tilde{P}_{10}=0.02$  при значении выборочной оценки вероятности ложного обнаружения  $\tilde{P}_{01}=0.14$ .

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в условиях поставленной задачи предобработки отсканированных изображений-контейнеров разработанный двухэтапный алгоритм обнаружения и выделения (сегментации) растрированных изображений обладает большей, чем у существующих алгоритмов выделения растрированных областей, универсальностью по отношению к используемому типу растра, что делает его использование предпочтительным в рамках представленной технологической схемы процесса стегоанализа.

В главе 4 рассмотрено разработанное программное обеспечение (далее ПО) для автоматизированного стегоанализа отсканированных печатных изделий. В основу разработанного ПО был положен набор стандартизированных модулей, работающих независимо друг от друга, каждый из которых реализует методы стегоанализа для одного из рассматриваемых методов встраивания ВЗ.

В главе 4 также рассмотрены функциональная структура разработанного ПО (рис. 7) и подробно рассмотрена реализация информационной технологии в рамках разработанного ПО.

Каждый из методов стегоанализа в рамках разработанного ПО реализован в виде отдельного *модуля стегоанализа*, выполняющего процедуры вычисления численных характеристик ключа, извлечения и обнаружения ТВЗ в соответствии с представленной в диссертационной работе схемой технологического процесса стегоанализа. Набор данных модулей может быть расширен путем создания модулей стегоанализа для дополнительных методов встраивания текстурного ВЗ.

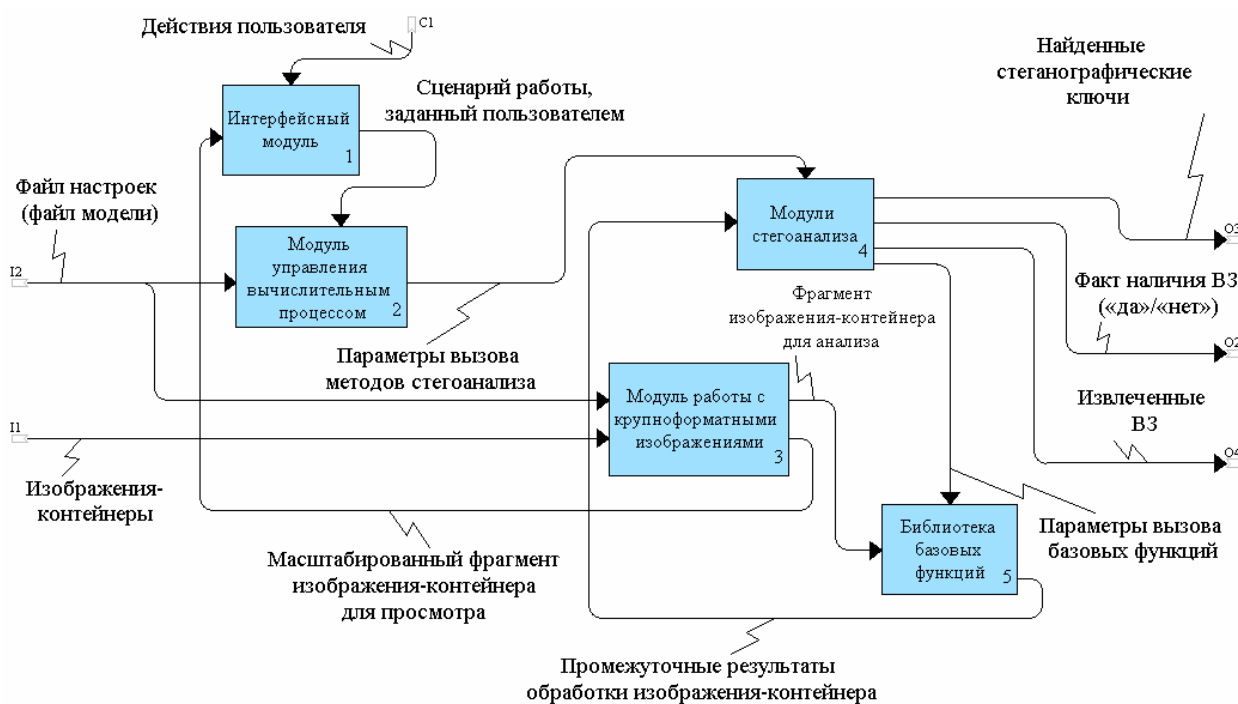


Рисунок 7—Функциональная структура разработанного ПО

Все модули разработанного ПО, кроме *модулей стегоанализа*, являются универсальными по отношению к используемым методам стегоанализа и не требуют внесения существенных изменений при реализации дополнительных методов стегоанализа в рамках разработанного ПО.

### Основные результаты

В ходе работы получены следующие новые научные результаты.

1. Впервые построена математическая модель стеганографической системы, осуществляющей встраивание текстурных ВЗ в печатные изделия, включая математическую модель двухкомпонентного представления изображения-контейнера, предназначенного для встраивания текстурного ВЗ, а также обобщенный алгоритм встраивания текстурных ВЗ в печатные изделия.
2. Разработана модифицированная схема технологического процесса стегоанализа, учитывающая особенности стегоанализа отсканированных печатных изделий и обладающая рядом преимуществ по сравнению с известной схемой стегоанализа цифровых изображений.
3. Разработан алгоритм предобработки изображения-контейнера, позволяющий обнаруживать и выделять растрированные области

отсканированного печатного изделия и обладающий рядом преимуществ по сравнению с существующими алгоритмами обнаружения растрованных областей изображения.

4. Для рассмотренных в диссертационной работе методов встраивания ТВЗ впервые разработаны методы стегоанализа, включая методы вычисления неизвестного стеганографического ключа, обнаружения ТВЗ и его извлечения из отсканированных печатных изделий.
5. Экспериментально показана эффективность разработанных методов обнаружения и извлечения ВЗ, а также малая чувствительность разработанных методов к искажениям, вносимым в изображение в результате его печати и последующего сканирования.

Полученные результаты позволяют говорить о том, что все рассмотренные в диссертационной работе методы встраивания текстурных ВЗ *не являются стеганографически стойкими* и, следовательно, *не удовлетворяют требованиям надежности*, предъявляемым к системам защиты печатных изделий от подделки и копирования.

### **Список опубликованных работ**

*в ведущих рецензируемых научных изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией:*

1. Митекин, В.А. Построение модели стеганографической системы и обобщенного алгоритма встраивания ЦВЗ в полиграфические изделия [Текст]/ В.А. Митекин, А.В. Сергеев, В.А. Федосеев, Д.М. Богомоллов // Компьютерная оптика. – 2007. – Том 31, № 4. – С. 95-101.
2. Митекин, В.А. Метод оценки размеров базовых элементов структур отсканированных цифровых изображений [Текст]/ В.А. Митекин, В.А. Федосеев // Компьютерная оптика. – 2007. – Том 31, № 2. – С. 86-91.
3. Митекин, В.А. Стегоанализ одного класса алгоритмов встраивания цифровых водяных знаков в полиграфические изделия [Текст]/ В.А. Митекин // Обозрение прикладной и промышленной математики - 2008. – Выпуск 4. – Том 15. – С. 751-752.
4. Митекин, В.А. Программное обеспечение стегоанализа отсканированных полиграфических изделий [Текст]/ Н.И. Глумов, В.А. Митекин, А.В. Сергеев, В.А. Федосеев // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Выпуск 6, Том 15. – С. 1060-1061.

*в других изданиях:*

5. Митекин, В.А. Метод оценки размеров базовых элементов структур отсканированных цифровых изображений[Текст]/ В.А. Митекин, В.А. Федосеев// Межвузовский сборник научных трудов «Прикладная математика и математическое моделирование». – Москва, МГУП. – 2007. – С. 17 – 24.
6. Mitekin, V.A. Estimation method of printers' resolving power based on scanned samples analysis[Text]/ V.A. Fedoseyev, V.A. Mitekin// Proceedings of 8-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-8-2007). Russian Federation, Yoshkar-Ola, October, 8-13, 2007. – Vol.2. – Pp. 314-317.
7. Mitekin, V.A. Algorithm of extraction of digital watermarks from scanned polygraphic production[Text]/ D.M. Bogomolov, N.I. Glumov., V.A. Mitekin, V.A. Fedoseev// Proceedings of 9-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-9-2008). Russian Federation, Nizhny Novgorod, September 15-19, 2008. – Vol.1. – Pp. 55-59.
8. Mitekin, V.A. A new halftone detection algorithm for scanned documents[Text]/ V.A. Mitekin// Proceedings of 9-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-9-2008). Russian Federation, Nizhny Novgorod, September 15-19, 2008. – Vol.2. – Pp. 53-56.
9. Mitekin, V.A. Software for scanned polygraphic products steganalysis[Text]/ A.A. Aleshin, D.M. Bogomolov, N.I. Glumov, V.A. Mitekin, A.V. Sergeyeu, V.A. Fedoseev// Proceedings of 9-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-9-2008). Russian Federation, Nizhny Novgorod, September 15-19, 2008. – Vol.1. – Pp 3-7.
10. Митекин, В.А. Обобщенный алгоритм встраивания цифровых водяных знаков в полиграфические изделия [Текст]/ В.А. Митекин// Сборник материалов 8 международной конференции «Распознавание-2008». – 2008. – Том 2. С. 19-20.