

На правах рукописи

Альхрейсат Хабес Махмуд

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ
МИКШИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АУДИОСИГНАЛ
(ФОРМАТ MP3)**

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации.

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2008

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор

Александров Виктор Васильевич

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор
кандидат технических наук,
доцент

Рудницкий Сергей Борисович

Спиваковский Александр Михайлович

Ведущая организация – **Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ)» 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул.,29**

Защита диссертации состоится «___» декабря 2008 года в «__» часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций. Д 212.238.07 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5 .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «___» ноября 2008 года.

Ученый секретарь совета
по защите докторских и
кандидатских диссертаций

В. В. Цехановский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В связи с развитием информационных технологий, мультимедиа и Интернет общения остро встал вопрос защиты авторских прав и интеллектуальной собственности, представленной в цифровом виде. Это тексты, фотографии, аудио и видеозаписи и др.. Преимущества, которые дают представление и передача сообщений в цифровом виде, могут оказаться перечеркнутыми легкостью, с которой возможно их воровство и компиляция. Поэтому разрабатываются различные методы аутентификации, идентификации (штрикодирование, ПИН, ИНН, RFID и др.) информации для организационного и технического характера. Одно из наиболее эффективных технических средств защиты мультимедийной информации и заключается во встраивании в защищаемый объект невидимых меток - ЦВЗ. Разработки в этой области ведут крупнейшие фирмы во всем мире.

В растущем рынке развивающихся информационных, в том числе и Интернет технологий возникла и возможность, и потребность создания инфраструктуры, как распространения, так и контроля за авторскими правами, интеллектуальной собственности и юридическим сопровождением. Эта комплексная проблема последовательно привела к появлению IP – адресации, персональному идентификационному номеру PIN, штрикодированию, радиометкам (RFID) для транспортной логистики, защиты музейных коллекций, и к технологии микширования цифровых водяных знаков. Возникает задача формирования цифровой записи ЦВЗ и ее сокрытое внедрение в различные типы информационных носителей: книги, картины, аудио, видеосигналы и т.д.

В связи с этим в данной диссертационной работе поставлена и решается проблема разработки: цифрового метода, алгоритмов и программ формирования и адаптации ЦВЗ для микширования в аудиосигнал с целью хранения и распространения в мультимедийных технологиях в формате MP3 файла.

Заметим, что одновременно с задачей аутентификации (авторские права, PIN- код и др.) решается и задача идентификации, а также поиск звукового файла.

При использовании технологии цифровых водяных знаков файлы не шифруются и не защищаются от несанкционированного распространения. Однако она имеет юридическую силу и может применяться для определения имени владельца. Это позволяет проследить цепочку нелегальных распространителей песен до первоначального покупателя. Технология может использоваться и для прослеживания аудиофайлов с целью распределения авторских гонораров.

Трудность создания технологии цифровых водяных знаков для аудиофайлов заключается в том, что при их воспроизведении они не должны прослушиваться. Водяные знаки должны быть не только неслышными, но и пронизывающими весь звуковой файл таким образом, чтобы их нельзя было выявить и изменить, а также достаточно стойкими, чтобы выдерживать обычные изменения файла, такие как обработка алгоритмами компрессии.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости создания методов и программ, позволяющих создавать программы цифровых

построений ЦВЗ для защиты интеллектуальной собственности, дополнительных данных в массиве мультимедийных данных.

Цель работы и задачи исследований. Целью настоящей работы является исследование и анализ возможности микширования цифровых водяных знаков в мультимедийный файл без его существенного искажения и не прозрачности при восприятии человеком; исследование и разработка методов защиты авторских прав, интеллектуальной собственности информации; анализ существующих методических и теоретических аспектов цифровых водяных знаков, обеспечивающий анализ и обработку цифровой мультимедийной информации с целью микширования цифровых водяных знаков в звуковой файл, сохранность в формате MP3 и эффективная защита интеллектуальной собственности на объектах мультимедиа.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие **задачи:**

1. Исследование и анализ акустической модели восприятия звука.
2. Разработка методов микширования разнотипных данных (текст, пектограмма, звук) в аудиосигнал.
3. Разработка алгоритмов и программ микширования ЦВЗ без искажения качества восприятия исходного сигнала.
4. Разработка алгоритма и программ обнаружения ЦВЗ (ключ – PIN) в формате MP3.
5. Составление программы экспериментальной оценки эффективности процедур микширования ЦВЗ в аудиосигнал.
6. Экспериментальная оценка разработанных алгоритмов и программ.

Объект и методы исследований. Объектом исследования является мультимедиа и цифровой аудиосигнал, акустическая модель слухового анализатора человека. Математические модели ЦВЗ. При решении задач, поставленных в диссертации, применялись разнообразные методы: аналого-цифровое преобразование, табличные формы вычислений, терминальные программы, акустическая модель слухового анализатора человека. Исследование отношения битовых программ ЦВЗ и аудиосигнала.

Научная новизна работы заключается в следующих основных результатах:

1. Построение ЦВЗ для различных типов информационных носителей.
2. Метод, алгоритм и программа построения ЦВЗ с адаптацией в MP3 файл.
3. Алгоритм и программа обнаружения ЦВЗ в файле MP3, без наличия оригинального аудиосигнала.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Метод, алгоритм и программа микширования различных типов ЦВЗ в звуковой файл «формат MP3».
2. Метод обработки и преобразования ЦВЗ.
3. Алгоритм и программа обнаружения ЦВЗ в исходном звуковом файле «формат MP3».

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что разработанные алгоритмы и программы микширования различных видов ЦВЗ для защиты авторских прав, интеллектуальной собственности, дополнительных данных в массиве мультимедийных данных.

Реализация и внедрение. Результаты диссертационного исследования реализованы в виде ряда программных систем на MatLab. Данные программные системы используются для обеспечения уникальной идентификации (аутентификации) исходного сигнала с целью защиты интеллектуальной собственности.

Апробация работы. Основные теоретические и практические положения работы докладывались и обсуждались на:

- Международная конференция по компьютерной графике, машинному зрению, обработке изображений «International Conference on Graphics, Vision and Image Processing», Египет, 2005;
- X Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика-2006», Санкт-Петербург, Россия, 2006.
- Международная конференция по информационной системе и технологиям «International Conference on Web Information System and Technologies», Португалия, 2006;

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 5 работах, среди которых публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК 2 работы, а также материалы научно-технических и всероссийских конференций в количестве 3, перечисленных в конце автореферата.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, излагается на 100 страницах, включая перечень используемой литературы из 66 наименований, 38 рисунков и 3 таблицы. Кроме того, в диссертации имеется приложение на 16 листах, содержащие в себе примеры работы разработанных программ, реализующих алгоритмы, описанные в диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, ее научное и практическое значение, определяется объект исследования, формулируются цели и задачи работы, обосновывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Показано, что с развитием мультимедийных технологий возникли принципиально новые положения об организации нормативных актов, охране и управления интеллектуальной собственностью. Основой этих новых механизмов хранения информации, ее защиты и распространения служат цифровые идентифицирующие системы и цифровые коды. А в результате развития и совершенствования уже самих этих цифровых идентифицирующих систем создается глобальный мировой цифровой реестр интеллектуальной собственности. Отдельные задачи решаются использованием ЦВЗ и RFID.

В первой главе рассматриваются методы микширования как объект исследования: терминология, область применения ЦВЗ, методы встраивания и восстановления цифровых данных в массиве мультимедийных технологиях. Приводится классификация цифровых методов, а также математическая модель и приводятся некоторые практические способы микширования.

Одной из основных проблем в области цифровых информационных технологий является защиты интеллектуальной собственности, дополнительных данных в массиве мультимедийных данных и аутентификация (авторские права, PIN- код и др.).

Название этот метод получил от распространенного способа защиты ценных бумаг, в том числе и денег, от подделки. В отличие от обычных водяных знаков ЦВЗ могут быть не только видимыми, но и (как правило) невидимыми т.е. не прозрачны для восприятия человеком. Невидимые ЦВЗ анализируются специальной программой, которая выносит решение об их корректности. ЦВЗ могут включать аутентичные сведения, информацию о собственнике, либо иную информацию. Наиболее подходящими объектами защиты при помощи ЦВЗ являются неподвижные изображения, файлы аудио и видеоданных.

В настоящее время существуют многочисленные области применения цифровых методов ЦВЗ, четыре главных приложения: защита от копирования, доказательство аутентичности информации, а также возможность поиска по ключу (штрих кодирование). Большинство этих применений сосредотачивается на защите авторского права.

В данной работе на базе анализа открытых информационных источников рассматриваются возможности ЦВЗ применительно к проблеме защиты интеллектуальной собственности, аутентификации и доказательство аутентичности информации.

Теория шифрования и тайнопись лишь один из методов ЦВЗ как науки. ЦВЗ – быстро и динамично развивающаяся наука, использующая методы цифровой обработки сигналов, теории связи и информации. В настоящее время технология ЦВЗ находится в самой начальной стадии своего развития.

Так как ЦВЗ является молодой наукой, необходимо отметить, что в качестве данных, система ЦВЗ состоит из следующих основных элементов:

4. Контейнер – это любая информация, подлежащая передаче. В качестве сообщения может использоваться любой вид информации: текст, изображение, аудиосигналы.

5. ЦВЗ встроенные данные, которые микшируются в контейнер.

6. Канал передачи - транспортировка контейнера.

Для ЦВЗ можно дать следующую интерпретацию. Есть цифровые данные, которые необходимо микшировать в некоторый файл таким образом, чтобы после компьютерного восстановления исходного информационного содержания обеспечить недоступность восприятия ЦВЗ человеком.

Существует важнейшее требование микширования ЦВЗ в аудиосигнал: при микшировании ЦВЗ не должно вносить в сигнал искажения, воспринимаемые системой слуха человека; при этом, уничтожение ЦВЗ должно приводить к заметному повреждению контейнера. ЦВЗ не должна вносить заметных

изменений в статистику контейнера. При этом должна обеспечиваться устойчивость ЦВЗ к изменениям контейнера (сжатие, фильтрация, аналоговые и цифровые преобразования).

Во второй главе приводится обоснование проблемы исследования и формулировки цели и задач работы. Даются основные понятия микширования в массиве мультимедийных данных.

Основным требованием к методу микширования ЦВЗ была необходимость микшировать ЦВЗ в исходном файле таким образом, чтобы они являлись неотделимым от исходных данных, были при этом устойчивыми к операциям преобразования и атакам и не ухудшали исходный документ.

Как правило, системы ЦВЗ состоят, по крайней мере, из двух общих стандартных блоков:

1. система внедрения ЦВЗ (информация об авторском праве);
2. система восстановления ЦВЗ (идентификация владельца).

Микширование ЦВЗ требует трех функциональных компонентов: носителя информации для внедрения ЦВЗ, создания ЦВЗ, и технологии извлечения ЦВЗ.

Носитель информации - список элементов данных, отобранных из сигнала-контейнера, который модифицируется во время кодирования шумоподобной последовательности составляющей ЦВЗ. Шумоподобные сигналы генерируются псевдослучайно независимо от носителя. В идеальном случае, сигнал ЦВЗ должен иметь максимальную амплитуду, но которая все еще остается ниже уровня восприятия. Для того чтобы выполнить эти противоречивые условия сигнал ЦВЗ должен быть масштабирован и модулирован в зависимости от мощности носителя (контейнера)

На рисунке 1 показана основная схема микширования ЦВЗ, в которой водяной знак внедряется в звуковой файл. Из рисунка видно, что в общем случае системы ЦВЗ состоят, по крайней мере, из двух стандартных блоков:

1. система внедрения ЦВЗ (информация об авторском праве);
2. система обнаружения ЦВЗ (идентификация владельца).



Рис. 1. Система микширование ЦВЗ

Таким образом, система микширования ЦВЗ состоит из пяти элементов: $\xi = \langle C, W, K, D_k, E_k \rangle$, где C – множество возможных аудио контейнеров, W множе-

ство ЦВЗ с $|C| \geq |W|$, K множество секретных ключей, $E_k : C \times K \times W \rightarrow C$ функция встраивания и $D_k : C \times K \rightarrow C$ функция восстановления, такая что $D_k(E_k(c, k, w)k) = w$ при всех $w \in W$, $c \in C$ и $k \in K$ называется моделью ЦВЗ.

Третья глава посвящена анализу прикладных возможностей данного метода. Приводится описание алгоритмов и программ, реализующих процесс микширования.

В предлагаемом методе используется акустическая модель восприятия звука в комбинации с прямой последовательностью и двоичной фазовой модуляции (BPSK). Этот метод ЦВЗ, обладает хорошей устойчивостью к атакам.

(текст, изображение,

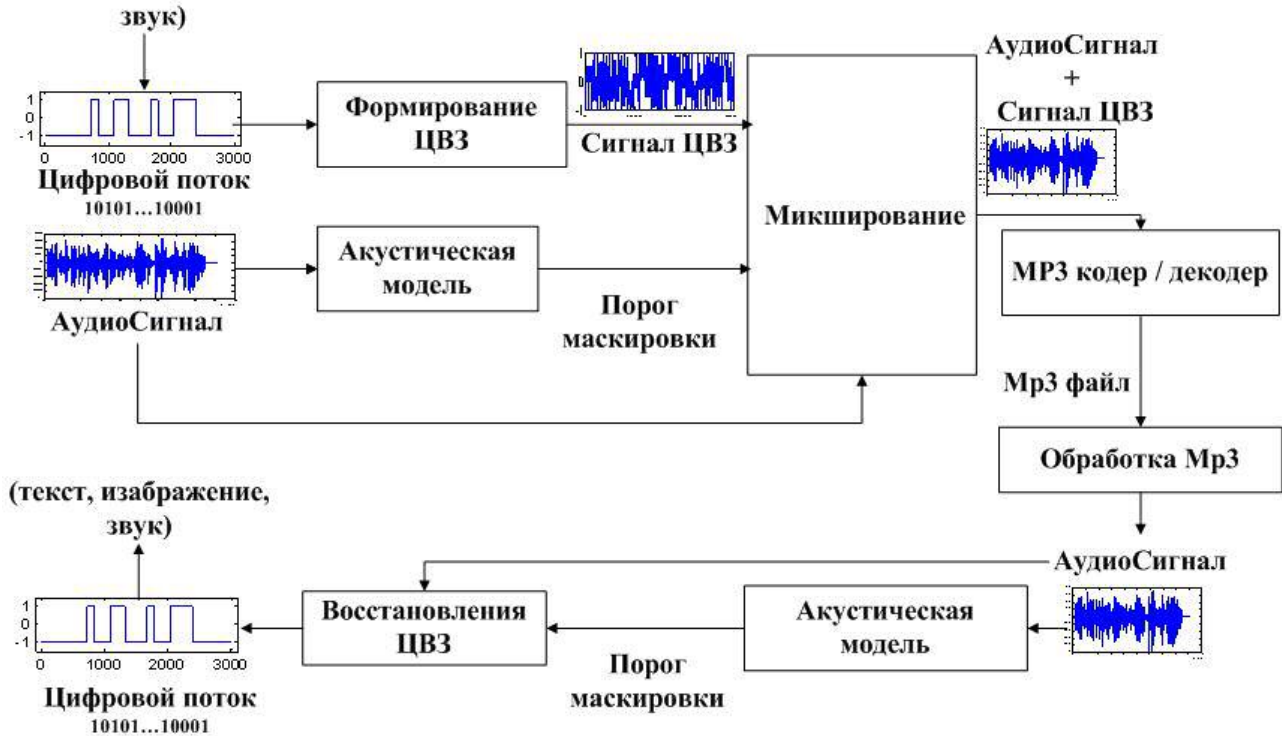


Рис. 2. Система микширования и восстановления ЦВЗ

Извлечение ЦВЗ происходит, так называемым, «слепым детектированием», т.е. не требуется наличие исходного MP3 файла. На рис. 2 показана схема системы внедрения ЦВЗ.

Так как в качестве контейнера ЦВЗ используется аудиосигнал и кодек формата MP3, то для разработки эффективной программы микширования ЦВЗ в контейнер, несущий контентекстную информацию (музыка, речь) следует учитывать специфическую особенность восприятия звука человеком. Алгоритм микширования водяных знаков в аудиосигнал, представленный в диссертации, соединяет акустическую модель и метод расширения спектра. Он состоит из двух основных этапов: первый - образование и микширование водяных знаков и второй - восстановление водяных знаков.

Акустика - наука о восприятии звука человеческим ухом - ключ к технологии MP3. Чем лучше алгоритм MP3-кодирования учитывает принципы психоакустики, тем точнее сжатый цифровой файл в формате MP3 отражает ори-

гигант (тем выше скорость потока данных и тем выше качество звука). Два важнейших акустических эффекта - это порог слышимости и маскировка.

Рис. 3 иллюстрирует порог слышимости. Области 1 и 2 не воспринимаются человеком, область 3, 4, 5 диапазон восприятия человека. Поэтому этот частотный диапазон (от 2 до 4 кГц) представляет наибольшие трудности, при кодировании в MP3 часто появляются нежелательные шумы (артефакты).

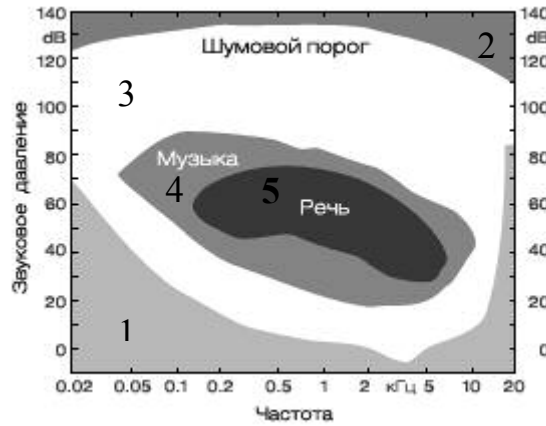


Рис. 3. Человеческое ухо не слышит звуков, соответствующих 1 и 2 областям.

Второй термин - маскировка - касается ситуации, когда тихий звук накладывается на громкий. Эта ситуация показана на рис. 4: короткий громкий звук треугольника на некоторое время заглушает (маскирует) более тихий и продолжительный звук струнных. С точки зрения слушателя это означает, что на короткий момент времени струнные не слышны за более громким звуком треугольника.

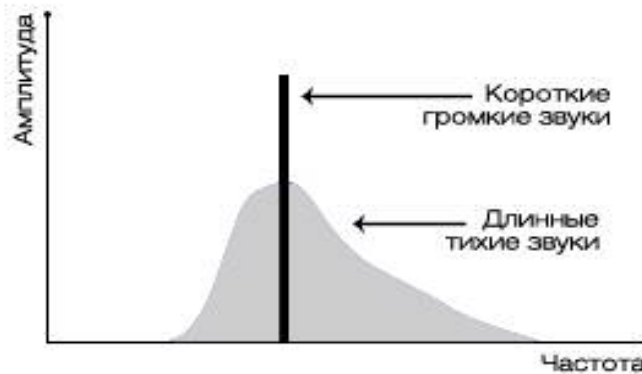


Рис. 4. Психоакустический эффект маскировки: короткий громкий звук заглушает (маскирует) тихие звуки и делает их учет ненужным.

Гармонические звуки связаны друг с другом арифметической зависимостью. Составляющие тона Шепарда связаны геометрической зависимостью.

Слуховой парадокс создаваемый тоном Шепарда, следует из функции Вейерштрасса, которая обладает свойством самоподобия. И ее корреляционная функция инвариантна к сдвигу. Функция Вейерштрасса имеет вид:

$$\omega(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k \cos(\beta^k t) \quad (1)$$

где α – вещественное, а β – нечетное.

Водяные знаки представленные в диссертации – это аудио сигнал, полученный методом расширения спектра цифрового потока двоичных сигналов. Входящий аудио сигнал (т.е. музыка) анализируется с помощью акустической модели для того, чтобы выявить окончательный порог маскирования. Затем эта информация используется для формирования и внедрения водяного знака в аудио сигнал, сохраняя качество восприятия. Предполагается, что все аудио сигналы должны быть представлены в одном цифровом формате (т.е. PCM).

При обработке ЦВЗ используется кодовая прямая последовательность и двоичная фазовая модуляция (BPSK). Таким образом, сигнал ЦВЗ будет устойчивым к удалению некоторых фрагментов. Алгоритм создания ЦВЗ представлен на рис. 4. Основная его задача состоит в преобразовании битового потока ЦВЗ в поток аудио данных $x(t)$.

(текст, изображение, звук)



Рис. 5. Алгоритм создания ЦВЗ

Обозначения: $\{w\}$ – бит ЦВЗ; $\{w_R\}$ – ЦВЗ после кодирования повторения; I, H – размерность матрицы смешивания; $\{заголовок\}$ – заголовок последовательности; $\{d\} = \{заголовок\} + \{w_1\}$ – последовательность бит для последующего расширения и передачи.

Для повышения устойчивости к воздействиям на ЦВЗ, могут применяться помехоустойчивые коды, например, коды повторения. Коды повторяют каждый бит a из сообщения d m раз.

Например, пусть имеем код повторения (3,1), тогда, кодируя сигнал $\{w\}$, получим:

$$\{w\} = \{ 1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \mid 1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \}$$

$$\{w_R\} = \left\{ \begin{array}{cccc|cccc|cccc|cccc} 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 & \\ -1 & -1 & -1 & & -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & \\ 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 & \\ 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & & -1 & -1 & -1 & \end{array} \right\}$$

Уровень защиты от импульсных помех повышается при использовании побитового перемешивания, так как это позволяет обеспечить независимость от влияния серии ошибок попадающих на один и тот же блок. При этом все символы образуют матрицу, в которой информационные символы образует колонки, а передача идет по строкам матрицы. Если закодированный символ последовательности представить в виде $\{w_c\} = x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, то эта же последовательность после перемешивания бит становится $\{w_l\} = x_1, x_6, x_{11}, \dots$, для $I = 5$ и $H = 15$. Матрица перемешивания с глубиной $I = 5$ и длиной $H = 15$, показана на рисунке 4.

X_1	X_{16}	X_{31}	X_{46}	X_{61}
X_2	X_{17}	X_{32}	X_{47}	X_{62}
X_3	X_{18}	X_{33}	X_{48}	X_{63}
X_4	X_{19}	X_{34}	X_{49}	X_{64}
X_5	X_{20}	X_{35}	X_{50}	X_{65}
X_6	X_{21}	X_{36}	X_{51}	X_{66}
X_7	X_{22}	X_{37}	X_{52}	X_{67}
X_8	X_{23}	X_{38}	X_{53}	X_{68}
X_9	X_{24}	X_{39}	X_{54}	X_{69}
X_{10}	X_{25}	X_{40}	X_{55}	X_{70}
X_{11}	X_{26}	X_{41}	X_{56}	X_{71}
X_{12}	X_{27}	X_{42}	X_{57}	X_{72}
X_{13}	X_{28}	X_{43}	X_{58}	X_{73}
X_{14}	X_{29}	X_{44}	X_{59}	X_{74}
X_{15}	X_{30}	X_{45}	X_{60}	X_{75}

1	1	1	-1	1
1	1	-1	-1	1
1	-1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	-1
1	-1	1	1	-1
1	-1	1	1	-1
-1	-1	1	1	-1
-1	-1	1	1	-1
-1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Рис. 6. Матрица перемешивания

$$\{w_l\} = \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & & & & & & & & & & \end{array} \right\}$$

Выделенный заголовок обычно является последовательностью единиц.
 $\{\text{заголовок}\} = \{ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \}$

Конечная последовательность данных $\{d\}$ получена, путем объединения $\{\text{заголовок}\}$ и $\{w_l\}$:

$$\{d\} = \{\text{заголовок}\} + \{w_l\} \quad (2)$$

$$\{d\} = \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right\}$$

После чего проводится модуляция:

$$s(t) = d(t)\sqrt{2S} \cos(\omega t) \quad (3)$$

Расширенный спектр получается в результате смешивания информационного потока с PN (псевдошумовым). В результате этого смешивания получается PN-сигнал.

$$x(t) = c(t)s(t) \quad (4)$$

$$\{c\} = \{ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ \dots \}$$

На Рис. 5 представлен сигнал после прохождения определенных этапов алгоритма.

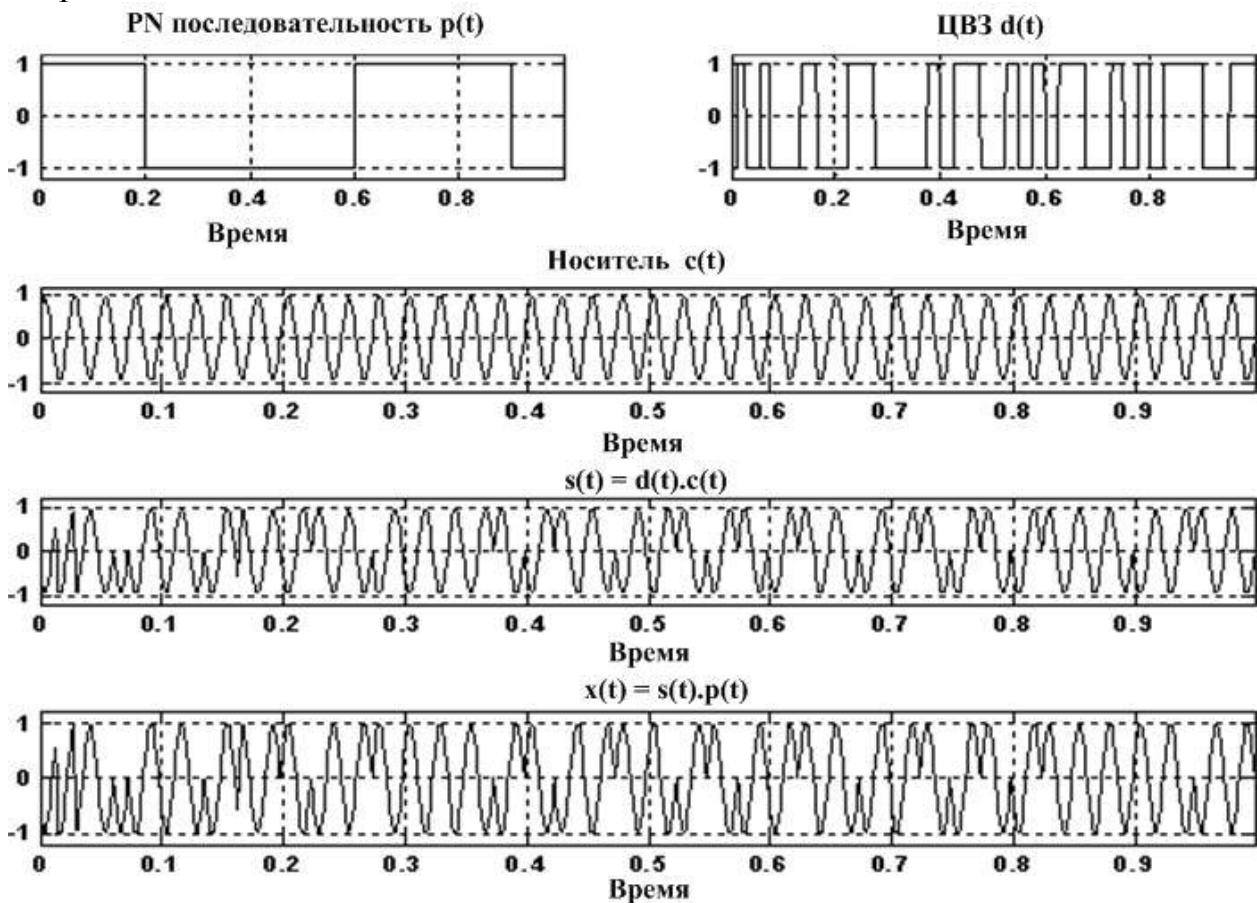


Рис. 7. Этапы создания сигнала ЦВЗ.

Суть преобразования аналогового сигнала в цифровой поток MP3 состоит в отфильтровывании ненужной информации. Звуки, которые человеческое ухо не слышит или почти не слышит, отбрасываются.

Акустическая модель слуха представленная на рис. 6, позволяет с высоким качеством производить компрессию сигнала с потерей информации за счет

того, что позволяет определить, что можно безопасно удалить из исходного звукового сигнала и при этом значительно не ухудшить его качество.

Порог слышимости и маскировка. Порог слышимости $T(Z)$ используется для определения мест встраивания ЦВЗ в «свободные участки» частотного спектра исходного сигнала. Звуки, которые человеческое ухо не слышит или почти не слышит.



Рис. 8. Акустическая модель слуха представленная.

Для этого $T(z)$ сравнивается со значениями спектра мощности сигнала $S_p(j\omega)$. Компоненты с уровнем ниже порога $T(z)$ считаются маскированными для человеческого слуха и удаляются из частотного спектра исходного сигнала $Sw(j\omega)$. Тогда ненужные компоненты ЦВЗ $Xw(j\omega)$ могут быть удалены. Эти компоненты соответствуют оставшимся компонентам в $Sw(j\omega)$. Тогда $Sw(j\omega)$, $Xw(j\omega)$ модифицируется следующим образом:

$$Sw_{new}_i(j\omega) = \begin{cases} Sw_i(j\omega) & Sp_i(j\omega) \geq T(z) \\ 0 & Sp_i(j\omega) < T(z) \end{cases} \quad (5)$$

$$Xwnew_i(j\omega) = \begin{cases} 0 & Sp_i(j\omega) \geq T(z) \\ Xw_i(j\omega) & Sp_i(j\omega) < T(z) \end{cases} \quad (6)$$

где $i = 1, 2, \dots$ номер компоненты спектра, z, ω — значения соответствующие i -й компоненте.

Компоненты $Xwnew(j\omega)$ сформированы так, чтобы остаться ниже заключительного маскирующего порога. Значение фактора F_z вычисляется по формуле:

$$F_z = \frac{\sqrt{T(z)}}{\max(|Xwnew(j\omega)|)} \quad (7)$$

Для формирования ЦВЗ $Xfinal(j\omega)$, вычисленное новое значение F_z умножается на соответствующий компонент $Xwnew(j\omega)$. Выходной сигнал $output(j\omega)$ получается суммированием $Swnew(j\omega)$ и $Xfinal$.

Для восстановления ЦВЗ разработанным методом не требуется наличие исходного MP3 файла. Рис. 7 демонстрирует основные шаги алгоритма восстановления.

При восстановлении ЦВЗ используется психоакустическая модель восприятия звука человеком, но в этом случае цель состоит в том, чтобы удалить все звуковые компоненты, которые имеют меньше вероятности принадлежать к сигналу ЦВЗ. Это означает, что сначала вычисляется значение порога маскирования $T(z)$, которое сравнивается со значениями спектра мощности входного сигнала. Все компоненты спектра частот с уровнем выше порога $T(z)$, удаляются. Оставшиеся компоненты преобразуются обратно во временную область $r(t)$. Полученные значения анализируются на предмет наличия в них ЦВЗ.

По имеющемуся заголовку битовой последовательности, получатель находит начало сигнала ЦВЗ. Далее, методом DS / BFSK генерируется сигнал $header(t)$, используемый для определения точных позиции сигналов ЦВЗ в сигнале $r(t)$. Для обнаружения $header(t)$ в потоке данных $r(t)$ используются адаптивные фильтры высокого разрешения.

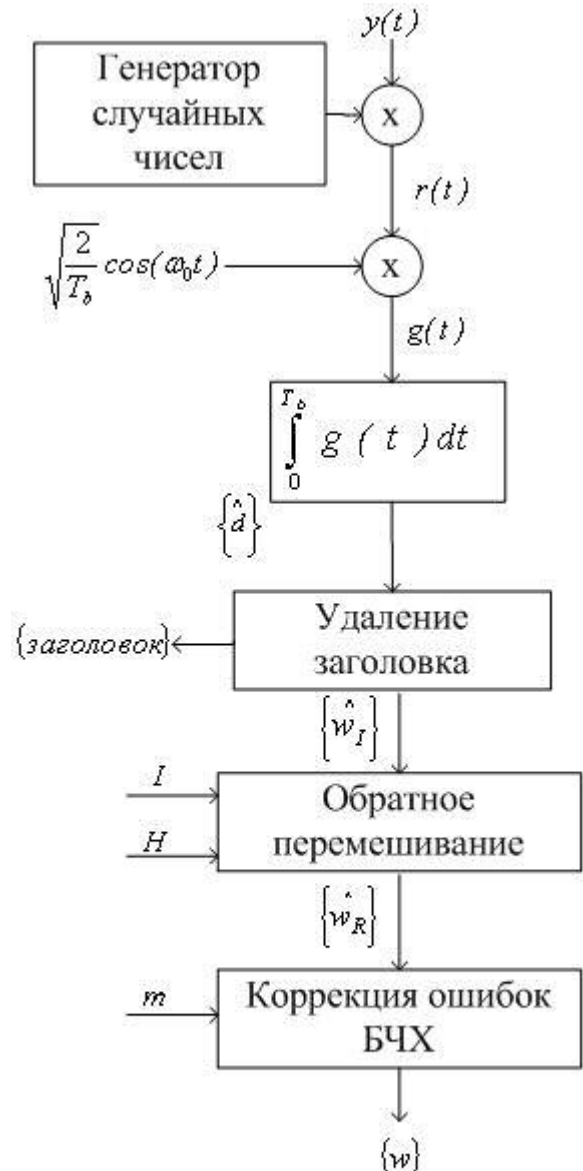


Рис. 8. Алгоритм восстановления ЦВЗ

После того, как заголовок последовательности обнаружен, производится синхронизация и извлечение ЦВЗ.

Синхронизация и извлечение ЦВЗ происходит следующим образом. Демодуляция $r(t)$ по формуле:

$$g(t) = r(t) \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t) \quad (8)$$

Оценка двоичных данных представлена в виде:

$$r_i = \int_{(i-1)T_s}^{iT_s} g(t) dt \quad (9)$$

Где $i = 1, 2, \dots, N$, N :

Отображение $r_1, \dots, r_n \rightarrow \{-1, 1\}$ определяется следующим образом:

$$\hat{d} = \begin{cases} 1 & , \text{if } r_i > 0 \\ -1 & , \text{if } r_i \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

Затем {заголовок} удаляется из $\{\hat{d}\}$, в результате чего получается поток двоичных сигналов $\{\hat{w}_l\}$, который снова перемешивается в обратном порядке с использованием матрицы в генерации.

В конце проводится расшифровка кода повторения m .

$$\hat{w}_R = \begin{cases} 1 & \sum_{i=1}^m \hat{w}_{Ri} > 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^m \hat{w}_{Ri} \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Полученная в конечном результате последовательность \hat{w}_R является восстановленными водяными знаками.

Четвертая глава посвящена разработке и экспериментальному исследованию микширования ЦВЗ без искажения качества восприятия исходного сигнала. Также в данной главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанных в диссертационной работе метода и программ микширования ЦВЗ на аудиосигнале.

Также в данной главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанных в диссертационной работе метод и алгоритмов микширования различных видов ЦВЗ в звуковой файл.

При испытании, предложенный метод встраивания и извлечения ЦВЗ в звуковые файлы формата MP3, показал высокую точность обнаружения ЦВЗ даже после кодирования в формат MP3 с различной степенью качества (-2 dB, -4 dB, -6 dB и -8 dB) и применения основных способов искажения сигнала (Таблица 1). Пояснения к таблице:

- %бит – процент битов используемых при восстановлении ЦВЗ;
- об.- объем ЦВЗ в байтах;

– объем исходного сигнала 2мб.

Таким образом, предложенный метод ЦВЗ может быть использован для защиты авторских прав, интеллектуальной собственности информации.

В приложении приведены фрагменты программ на пакете MatLab, реализующие предлагаемой системы.

Таблица 1.

Эффективность системы, 1 – 10 текст ЦВЗ, 11 – 20 пиктограмма ЦВЗ, 21 – 35 звук ЦВЗ.

ЦВЗ №	степень сжатия							
	-2 db		-4 db		-6 db		-8 db	
	об.	%бит	об.	%бит	об.	%бит	об.	%бит
1	4306	100.00	4306	98.21	4306	100.00	4306	98.21
2	43218	100.00	43218	100.00	16478	60.71	16478	64.29
3	82130	100.00	82130	98.21	43218	100.00	43218	98.21
4	121040	100.00	121040	100.00	82130	100.00	82130	100.00
5	142210	58.93	142210	53.57	121040	100.00	121040	100.00
6	159950	100.00	159950	100.00	142210	53.57	142210	51.79
7	188970	50.00	188970	51.79	159950	100.00	159950	100.00
8	198870	100.00	198870	100.00	188970	64.29	188970	57.14
9	220030	46.43	220030	44.64	198870	98.21	198870	100.00
10	237780	92.86	237780	89.29	220030	44.64	220030	50.00
11	255120	51.79	258500	58.93	237780	91.07	237780	85.71
12	276690	100.00	276690	100.00	258500	64.29	258500	62.50
13	287270	46.43	287270	58.93	276690	100.00	276690	94.64
14	315600	91.07	315600	91.07	287270	42.86	299100	44.64
15	339490	55.36	339490	51.79	315600	87.50	315600	83.93
16	354510	100.00	354510	98.21	339490	50.00	339490	55.36
17	380360	51.79	380360	39.29	354510	96.43	354510	94.64
18	393430	100.00	393430	98.21	378980	60.71	379920	44.64
19	412830	51.79	412830	57.14	393430	98.21	393430	96.43
20	432340	100.00	432340	67.86	412830	46.43	412390	55.36
21	447770	55.36	447770	51.79	432340	96.43	412830	46.43
22	471250	96.43	471250	96.43	447770	55.36	432330	51.79
23	510160	87.50	510160	82.14	471250	94.64	448270	50.00
24	549070	100.00	549070	98.21	510160	83.93	471250	89.29
25	570240	51.79	570240	48.21	535240	50.00	510160	78.57
26	587990	92.86	587990	91.07	549070	98.21	549070	91.07
27	610400	44.64	610400	42.86	570240	53.57	570240	48.21
28	626900	98.21	626900	98.21	587990	87.50	587990	83.93
29	637480	60.71	637480	62.50	610400	44.64	610400	46.43
30	665810	94.64	665810	92.86	626900	98.21	626900	96.43
31	704720	100.00	704720	98.21	637480	48.21	637020	53.57
32	730120	62.50	730120	55.36	665810	92.86	665810	89.29
33	743630	98.21	743630	96.43	704720	96.43	704720	94.64
34	771540	48.21	771540	51.79	730120	50.00	714440	58.93
35	782550	92.86	782550	91.07	743630	91.07	743630	94.64

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

- 1- Разработаны: метод, алгоритм и программы микширования ЦВЗ в аудиосигнал без его существенного искажения и не прозрачности при восприятии человеком для защиты авторских прав, интеллектуальной собственности;
- 2- Предложен метод и алгоритм создания различных типов ЦВЗ.
- 3- Предложен метод и алгоритм извлечения ЦВЗ.
- 4- Разработана программа встраивания ЦВЗ.
- 5- Разработано программное обеспечение оценки качества ЦВЗ.
- 6- Проведена экспериментальная апробация микширования ЦВЗ.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

- 1- Альхрейсат Хабес. Соккрытие Информации внутри WAV-Файлов: Применение, Анализ, и Оценка// Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Санкт-Петербургского Государственного электротехнического университета), серия «Информатика, управление и компьютерные технологии», – 2006. – Вып. 3. – С.48-56.
- 2- Альхрейсат, Х. Метод встраивания цифровых водяных знаков в звуковые файлы формата MP3 / Х. Альхрейсат, П. П. Кокорин // Изв. Вузов. Приборостроение. 2007. – Т.50, №10. – С.13-16.

В других изданиях:

- 3- Alkhraisat, Habes. Information Hiding in BMP image Implementation, Analysis and Evaluation (Микширования информации в BMP-Файлов: Применение, Анализ, и Оценка) // Информационные процессы. – 2006, – М. –ISSN: 1819-5822. –Т. 6, № 1. – С. 1-10.
- 4- Alkhraisat, Habes. Hiding Information in Wav-File - Implementation, Analysis and Evaluation (Микширование информации в звуковые файлы используют акустическую модель и метод расширения спектра) // 2nd International Conference on Web Information System and Technologies (WEBIST). Portugal. April 2006, pp. 274 – 281. – ISBN 978-972-8865-46-7.
- 5- Alkhraisat M. M Habes. 4 least Significant Bits Information Hiding Implementation and Analysis (Применение, Анализ, и Оценка методов микширования информации) // ICGST International Conference on Graphics, Vision and Image Processing. Cairo, Egypt, 2005, P.89-94. – ISSN: 1687-398X