На правах рукописи

РОДИОНОВ
Игорь Валерьевич

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2006

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент **А.Е. Рыжков**
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор **Б.С. Тимофеев**
	кандидат технических наук **А.Н. Никитин**
Ведущая организация	ФГУП «ЦНИИС»

Защита состоится «____» _____ 2006 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета К219.004.01 по при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича по адресу: 191186 Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «____» _____2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент **В.Х. Харитонов**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Основной тенденцией развития предоставляемых современным абонентам мобильных сетей услуг является использование всё более сложных и насыщенных мультимедийных элементов – графики, видеофрагментов, звука, которые, в свою очередь, предъявляют более высокие требования к пропускной способности каналов связи и к вычислительным ресурсам мобильных терминалов.

Вопросы разработки алгоритмов сжатия мультимедийной информации для передачи по радиоканалам сетей мобильной связи третьего поколения, с учётом их специфики, активно исследуются в работах отечественных (Л.В. Новиков, А.В. Переберин и др.) и зарубежных (I. Daubechies, C. Parisot, M. Antonini, M. Barlaud, M. Pereira и др.) авторов.

Результаты моделирования и экспериментов показали существенно более высокую потенциальную эффективность организации услуг по доставке мультимедийных сообщений, использующих альтернативные алгоритмы обработки и сжатия с допустимыми потерями данных, основанные на применении математического аппарата вейвлет-преобразований, и учитывающие специфику каналов и устройств мобильной связи – нестабильность соединения, малые размеры дисплея и низкие вычислительные мощности мобильного терминала.

Таким образом, диссертационная работа, посвящённая повышению эффективности организации сервисов по обработке и доставке мультимедийной информации абонентам мобильной связи, соответствует современной научной проблематике и является актуальной.

Цели и задачи исследования. Цель диссертационной работы состоит в повышении эффективности и улучшении эксплуатационных характеристик сервисов потоковой доставки мультимедиа подвижным абонентам путём разработки альтернативных алгоритмов обработки данных, соответствующих специфике мобильных сетей и терминалов связи.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

–анализ существующих решений по сжатию мультимедийной информации, применяемых в беспроводных системах связи;

–обзор состояния проблемы обеспечения эффективного сжатия мультимедийной информации, учитывающего специфику радиоканалов, в частности, сетей мобильной связи третьего поколения;

–оценка необходимости использования новых методов обработки и сжатия информации;

–обзор математического аппарата вейвлет-преобразований применительно к обработке мультимедийной информации и сжатия данных с допустимыми потерями;

–разработка алгоритмов сжатия статичных изображений, видео- и аудиопоследовательностей на основе быстрого лифтингового вейвлет-преобразования и кодирования коэффициентов методом погружённого нуль-дерева;

–аналитическое и имитационное моделирование прохождения сигнала по радиоканалу с возникновением характерных ошибок (случайные битовые ошибки, потеря пакета данных, потеря синхронизации потока);

–оценка качества восстановленной мультимедийной информации, сжатой с помощью предложенных алгоритмов, в сравнении с аналогичной оценкой, полученной для широко распространённых форматов сжатия мультимедийных данных (JPEG, MPEG-4, H.263);

–описание реальной услуги «Мобильное телевидение» для сетей мобильной связи третьего поколения, построенной на базе предложенных алгоритмов в рамках решения IMS (IP Multimedia Subsystem).

Методы исследования. В работе использованы методы теории случайных процессов, теории операций, математической статистики, статистического и имитационного моделирования.

Для численного анализа, проведения оценки и промежуточных вычислений использовался программный комплекс MathCad (версии для учебных заведений), а также собственные разработки автора на свободно распространяемых языках программирования PHP и Free Pascal.

Имитационное моделирование, обработка статичных изображений, видео- и аудиопоследовательностей производились автором с помощью самостоятельно разработанных приложений на языке серверного программирования PHP версии 4.2.

Научная новизна. Основными результатами диссертации, обладающими научной новизной, являются:

1.Предложение использовать сжатие изображений исключительно на основе технологии вейвлет-преобразований.

2.Разработка новых моделей и алгоритмов сжатия изображений и потокового видео, учитывающих специфику каналов мобильной связи.

3.Проверка предложенных алгоритмов в результате компьютерного эксперимента при использовании реальных сигналов и реальной статистики ошибок на радиолиниях сотовой связи.

Практическая ценность. Практическая ценность состоит в разработке алгоритмов прогрессивного сжатия потоковой мультимедийной информации, позволяющих быстро и эффективно повысить качество реализации существующих и новых услуг, создать прикладное программное обеспечение. Результаты проведённого исследования могут быть использованы в разработке перспективных услуг радиосвязи, а также в образовательном процессе высших учебных заведений.

Степень достоверности результатов. В работе использованы методы теории случайных процессов, теории операций, математической статистики, статистического и имитационного моделирования.

Достоверность результатов подтверждена строгими математическими доказательствами, основанными на теории вейвлет-преобразований, большим объемом компьютерных экспериментов с реальными сигналами. Результаты работы были доложены на международных научных конференциях и симпозиу-

мах, где получили положительную оценку. Доклад, представленный на IEEE ISCE2006, отмечен дипломом 3-й степени.

Основные положения диссертации изложены в 6 статьях и были доложены на 6 научно-технических конференциях и симпозиумах.

Основные положения, выносимые на защиту

1.разработка алгоритмов, использующих математические методы вейвлет-преобразований, для обработки и сжатия с потерями мультимедийной информации;

2.разработка модели исследования с целью определения влияния случайных битовых ошибок, потерь пакетов и сбоев в синхронизации принимаемого потока на качество реконструированного сигнала;

3.сравнительная оценка гибкости и помехоустойчивости потоков данных, подвергнутых обработке на основе различных алгоритмов сжатия, к ошибкам, возникающим при передаче по каналам мобильной связи. Теоретическое и экспериментальное обоснование предложенных алгоритмов сжатия.

Личный вклад автора. Все научные положения, теоретические выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 122 страницы текста, 34 рисунка и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, перечислены результаты, полученные в диссертации, определена практическая ценность и области применения результатов, приведены сведения по оценке достоверности полученных результатов и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы произведён обзор состояния проблемы, существующих решений и технологий передачи мультимедийной информации мобильным абонентам.

Проанализированы существующие варианты доставки потоковой мультимедийной информации как наиболее комплексной и коммерчески важной услуги.

В главе сделан вывод о целесообразности использования решения MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service) в качестве основы для построения потоковых мультимедийных сервисов, а также о необходимости модернизации существующих схем и алгоритмов обработки данных для максимально эффективного использования имеющихся ресурсов – пропускной способности радиоканала, вычислительных мощностей и заряда аккумуляторных батарей мобильных терминалов пользователей.

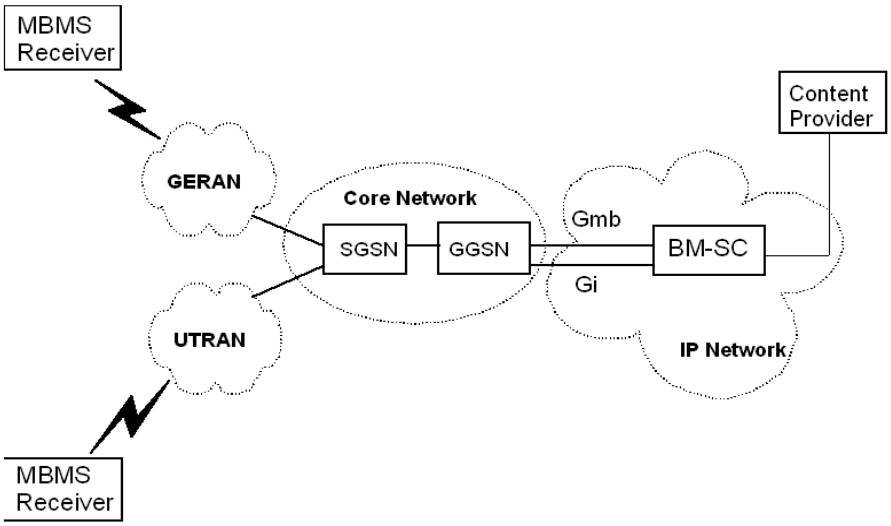

Рис. 1. Структурная схема MBMS

Услуга MBMS (рис. 1) позволяет производить передачу видео в двух режимах – потоковый (streaming) и загрузка (download). Очевидно, что первый режим, несмотря на более высокую техническую сложность при реализации, позволяет строить наиболее интересные для абонентов услуги, в частности, доставку потокового видео и мобильное телевидение.

В MBMS в качестве базового алгоритма сжатия видеоизображения принят 3GP-кодек, являющийся дальнейшим развитием кодека H.263. Этот кодек изначально был предназначен для передачи изображения по каналам связи со скоростью меньше 64 кбит/с, обеспечивает высокую степень сжатия изображе-

ния, но даёт объективно и субъективно невысокое качество восстановления формы движущихся объектов. С алгоритмической точки зрения данный алгоритм сжатия похож на алгоритм сжатия фотографий JPEG, и, несмотря на высокоэффективную компрессию, обладает рядом отрицательных характеристик. Так, при высоких степях сжатия на изображении появляется эффект видимых «блоков», а при повреждении данных видеоряд «рассыпается».

Тем не менее, следует отметить, что количество мобильных терминалов, обеспечивающих полную поддержку данного формата видео, имеет устойчивую тенденцию к росту. Так, в табл. 1 приведены относительные показатели популярности семейств различных моделей мобильных терминалов. Как видно из табл. 1, подавляющее большинство абонентских устройств обладает поддержкой формата 3GP.

Таблица 1

Доли рынка мобильных терминалов с поддержкой формата 3GP

модель телефона	июнь-август 2006 г.	август 2006
Samsung 128-160 display	14,8418	16,2960
Samsung 128x128 display	11,5549	12,0039
Nokia Series 40 DP 1.0	8,081	7,4263
Nokia Series 40 DP 2.0	6,1909	6,0894
Motorola 128x128 MIDP 2.0	5,9396	5,7637
SonyEricsson T610, 630, Z600	3,9305	3,5535
Nokia Series 40 JSR-120	3,6008	3,3937
Nokia Series 60	3,1501	3,0879
LG 128x128 display	2,4903	2,6176
SonyEricsson 176x220 display	2,2786	2,2449
Siemens 132x176 display	2,2319	2,2606
Motorola 176x220 display	2,2257	2,2664
LG 128x160 display	1,7219	1,7248
SonyEricsson K500i	1,6409	1,4178
Siemens 130x130 display	1,6295	1,5078
Nokia Series 40 128x160 display	1,4239	1,5033
Samsung 176x220 display	1,3089	2,1751
SonyEricsson 128x128 MIDP 2.0	0,8795	1,0194
Nokia 208x208 display	0,8442	1,0812
Siemens 128x160 display	0,3472	0,3506
Общая доля рынка	76,3278	77,7952

Реализация поддержки 3GP в перечисленных мобильных терминалах осуществлена на программном уровне. Также на программном уровне реализованы алгоритмы защиты передаваемой информации, причём выбор конкретного алгоритма зависит от типа используемого сервиса.

Так, в MBMS производят стандартную защиту информации для ошибок в процессе передачи (FEC – forward error correction), при этом количество избыточной вносимой информации составляет более 20%. Следует отметить, что с одной стороны, это позволяет на приёмной стороне устранить некоторые ошиб-

ки, возникшие при передаче. Но, с другой стороны, данный метод обладает рядом недостатков.

Во-первых, избыточное кодирование увеличивает общее количество бит, необходимых для передачи по радиоканалу, и, таким образом, общая эффективность сжатия снижается. Схема FEC-кодирования была разработана для некоторого «типично-наихудшего» состояния радиоканала. Для каналов, вносящих меньшее количество ошибок в передаваемые данные, конечная эффективность подобной схемы кодирования становится ниже.

Во-вторых, при ухудшении канала и падении его характеристик ниже расчётных, система кодирования не сможет корректно обработать пакет данных и изображение будет безнадёжно испорчено.

И, наконец, в-третьих, при использовании перемежения бит в целях исправления пакетных (bursty) ошибок возрастает время, необходимое для обработки и окончательного приёма пакета. В случае передачи файла (download) это не является критичным, но при передаче потокового видео по мобильным сетям это приводит к появлению общей задержки, а также расходует ограниченный ресурс памяти терминала пользователя.

Очевидно, что в случае организации интерактивных сервисов (например, мобильного телевидения), минимизация максимально допустимой задержки является одной из приоритетных задач.

В то же время, благодаря отсутствию необходимости модернизации сети, обеспечению сравнительно высоких скоростей передачи данных в сетях 3G, а также возможности загружать и использовать стороннее программное обеспечение на мобильном терминале абонента, есть возможность построить эффективный сервис передачи мультимедийной информации в рамках решения MBMS и предложить пользователям новые интерактивные услуги. Задача сводится к модернизации существующих алгоритмов по обработке мультимедийной информации и повышению эффективности их работы с учётом ограниченных возможностей мобильных терминалов абонентов. Разработанные новые алгоритмы могут быть успешно использованы при организации услуг в рамках стандартов альтернативных сетей передачи данных, а также при дальнейшем эволюционном развитии сотовых сетей.

Во второй главе диссертации рассмотрен математический аппарат вейвлет-преобразований применительно к его использованию для обработки и сжатия мультимедийной информации.

Для анализа нестационарных процессов, в которых информативным является сам факт изменения частотно-временных характеристик сигнала (примерами таких сигналов являются речь, музыка, изображение), требуются базисные функции, способные выявлять как частотные, так и временные характеристики, т.е. обладающие частотно-временной локализацией.

Одним из способов решения данной задачи является использование математического аппарата вейвлет-функций, в частности, вейвлет-разложения сигнала, при котором, в отличие от оконного преобразования Фурье, базисную функцию не только смещают во времени, но и масштабируют, чтобы получить

многократное перекрытие сигнала. Вид вейвлет-преобразования на плоскости «время-частота» приведён на рис. 2.

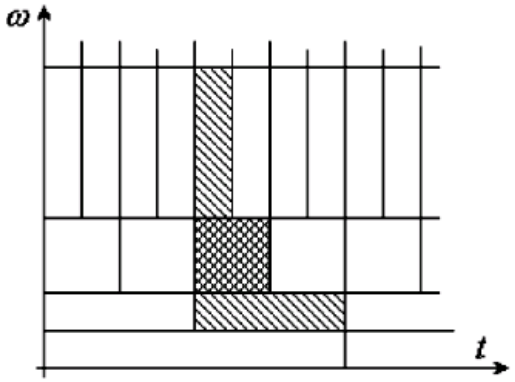

Рис. 2. Представление вейвлет-преобразования
на плоскости «время-частота»

Непрерывным вейвлет-преобразованием (CWT, continuous wavelet transform) функции $f(x) \in L_2(R)$ называют функцию двух переменных:

$$W(a,b) \equiv W_f(a,b) = \langle f(t), \psi(a,b,t) \rangle, \qquad a,b \in R, \quad a \neq 0,$$

где вейвлеты $\psi_{a,b}(t) \equiv \psi(a,b,t)$ являются масштабированными и сдвинутыми копиями порождающего (материнского) вейвлета $\psi(t) \in L_2(R)$:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \qquad a,b \in R, \quad a \neq 0.$$

Если для порождающего вейвлета выполняется условие

$$C_\psi \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left|\hat{\Psi}(\omega)\right|^2}{\omega} d\omega < +\infty,$$

где $\hat{\Psi}(\omega)$ – образ Фурье вейвлета $\psi(t)$, то вейвлет-преобразование обратимо, т.е. существует обратное непрерывное вейвлет-преобразование:

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(a,b) \psi(a,b,t) \frac{da\, db}{a^2}$$

Таким образом, непрерывное вейвлет-преобразование – это разложение сигнала по всем возможным сдвигам и сжатиям (растяжениям) некоторой функции. Количество копий порождающего вейвлета, необходимое для обратимого разложения, можно существенно сократить.

Распространённый случай – вычисление значений *W(a,b)* только для *a* и *b* вида:

$$a = 2^{-i}, \qquad \frac{b}{a} = j, \qquad i,j \in Z$$

Вместо непрерывной функции получается конечное множество значений:

$$\omega_j^{(i)} = \left\langle f(t), \psi_j^{(i)}(t) \right\rangle, \qquad (1)$$

где

$$\psi_j^{(i)}(t) = \sqrt{2^i}\, \psi(2^i t - j), \qquad i,j \in Z$$

Обратное преобразование примет вид:

$$f(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{i=-\infty}^{\infty} w_j^{(i)} \psi_j^{(i)}(t) \qquad (2)$$

Формулы (1) и (2) определяют диадное (или дискретное) ортогональное вейвлет-преобразование.

Вейвлет-преобразование сигналов может быть представлено как банк фильтров. Простой одноуровневый банк фильтров показан на рис. 3.

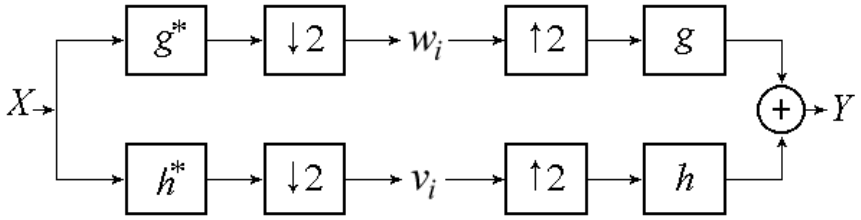

Рис.3. Представление вейвлет-преобразования
в виде банка фильтров

На рис. 3 показано, каким образом вейвлет-преобразование использует два фильтра: низкочастотный фильтр h^* и высокочастотный фильтр g^*, за которыми следует децимация сигнала (subsampling). В левой части схемы сигнал подвергают фильтрации, а затем децимации, т.е. отбрасывают часть отсчётов отфильтрованного сигнала, оставляя, например, только чётные отсчёты. Очевидно, что подобная схема неэффективна, и предпочтительнее производить децимацию перед фильтрацией (рис. 4).

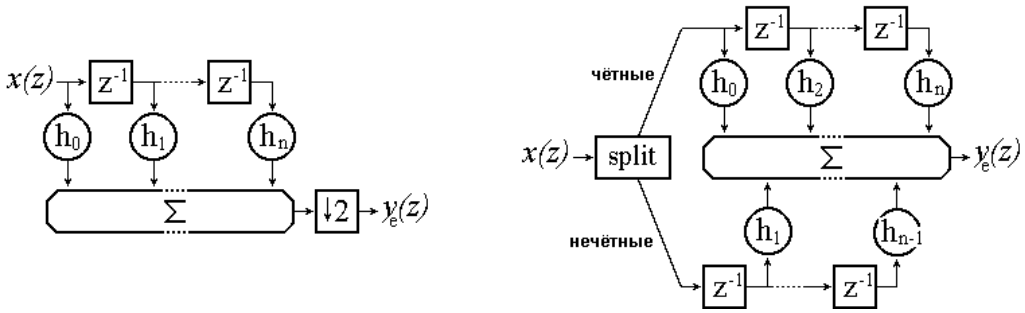

Рис. 4. Стандартный КИХ-фильтр с децимированным сигналом на выходе (слева)
и его более эффективная реализация (справа)

Если применить полученную новую модель КИХ-фильтра к вейвлет-преобразованию в виде банка фильтров (рис. 3), то данное преобразование можно записать в следующей векторной форме:

$$\begin{pmatrix} v(z) \\ w(z) \end{pmatrix} = P^*(z) \begin{pmatrix} x_E(z) \\ z^{-1} x_O(z) \end{pmatrix},$$

где $P^*(z)$ – полифазная матрица:

$$P^*(z) = \begin{pmatrix} h_E^*(z) & h_O^*(z) \\ h_E^*(z) & g_O^*(z) \end{pmatrix}.$$

Важным свойством определённых выше преобразований является то, что отсчёты записывают в единый поток данных, замещая предыдущие значения.

Все отсчёты этого потока заменяются новыми отсчётами, и в любой момент времени необходимы только текущие отсчёты для осуществления дальнейших вычислений. Это свойство сходно со свойством быстрого преобразования Фурье, где преобразованные данные также замещают исходные. Таким образом, происходит существенная экономия памяти при осуществлении преобразований, что является важнейшим фактором при построении лифтинговых вейвлет-преобразований на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами (например, на мобильных телефонах или карманных компьютерах).

В третьей главе диссертации предложены конкретные алгоритмы по обработке статических изображений, видеопоследовательностей и аудиофрагментов, построенные на базе математического аппарата вейвлет-преобразований. В процессе вейвлет-преобразований происходит разложение исходного вектора на низкочастотные и высокочастотные составляющие. В то же время в реальных изображениях, видео- и аудиопоследовательностях основная доля информации содержится именно в области низких частот. Следовательно, в процессе вейвлет-преобразований может быть достигнуто эффективное разделение исходного сигнала на ряд «слоёв», отсчёты в которых сгруппированы в зависимости от значимости содержащейся в них информации.

Для обработки статичных изображений предложен двумерный алгоритм (рис. 5).

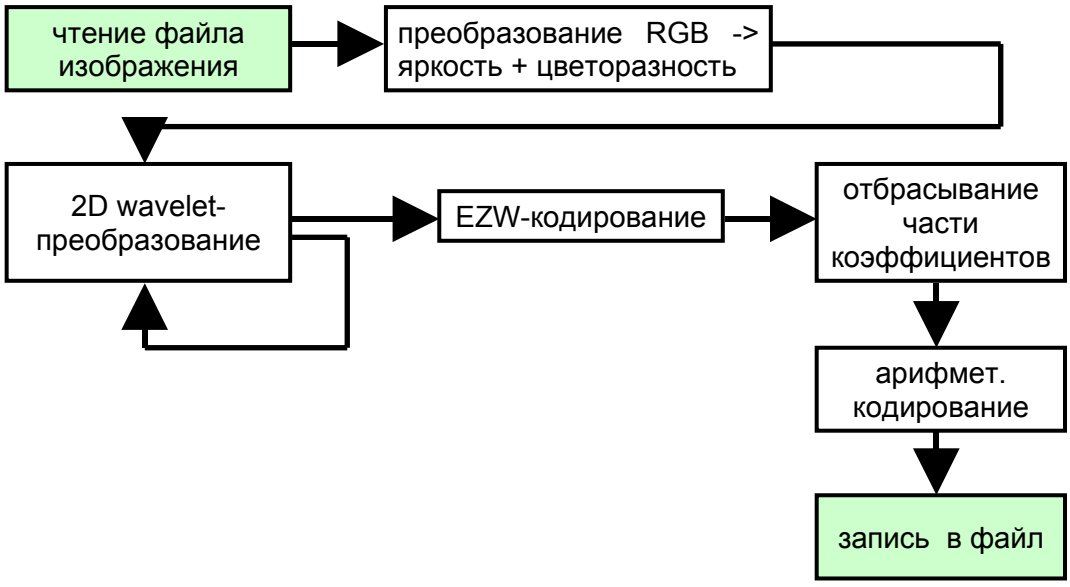

Рис. 5. Алгоритм обработки статичных изображений

Любое статичное изображение может быть представлено в виде двухмерной (2D) матрицы с отсчётами исходного сигнала, причём в случае стандартного цветного изображения (RGB, 24 бита на пиксель), эта матрица распадается на три независимых слоя, то есть, фактически, любое цветное изображение может быть представлено в виде трёх 2D-матриц с исходными отсчётами.

Процесс 2D-преобразования матрицы отчётов может быть представлен в виде двух 1D-преобразований – столбцов и строк исходной матрицы, что позволяет построить эффективные и оптимизированные вычислительные алгоритмы.

В качестве метода вейвлет-преобразования при обработке отсчётов предложено использовать фильтры Добеши 4-го порядка как наиболее эффективно реализуемые на платформе мобильных устройств и в то же время обеспечивающие высокие степени разложения исходного сигнала, в частности, применительно к реальным фотографическим изображениям (рис. 6).

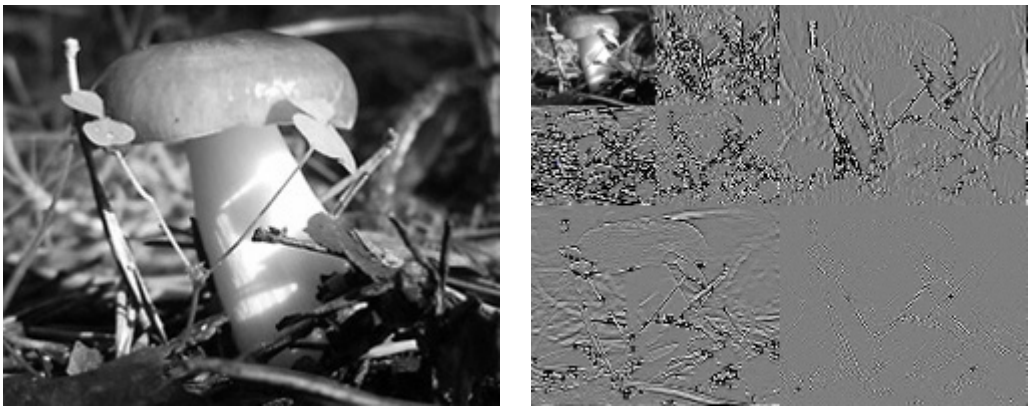

Рис. 6. Пример обработки изображения с помощью фильтров Добеши 4-го порядка (2 уровня рекурсивного вейвлет-разложения)

После разложения сигнала по степени значимости вейвлет-коэффициентов, в обработанной 2D-матрице установлен ряд взаимосвязей между отсчётами в различных частотных диапазонах, и это свойство может быть использовано для эффективного кодирования методом погружённого нуль дерева (EZW, Embedded Zerotree Wavelet encoder) и сжатия с потерями информации.

Первым шагом EZW-кодер должен определить начальный порог. При работе с битовой картой (обычной фотографией) начальный шаг определяют следующим образом:

$$t_0 = 2^{\lfloor \log_2(\mathrm{MAX}(|w(x,y)|)) \rfloor}$$

Для кодирования изображения требуются два прохода кодера – *основной* проход и *дополнительный*. Во время основного прохода сканируют изображение и для каждого коэффициента выводят определённый символ:

- если коэффициент превышает порог, то на выходе появляется символ P (positive);
- если коэффициент менее отрицательного значения порога, то на выходе появляется символ N (negative);
- если коэффициент является корнем нуль-дерева, то на выходе появляется символ T (tree);
- если ни одно из условий не соблюдено, то на выходе появляется символ Z (isolated zero).

Далее все коэффициенты, абсолютная величина которых превышает порог, переносят в специальный список, а их позиции в изображении заменяют нулями, чтобы избежать их повторного кодирования.

Во время дополнительного прохода происходит упорядочение коэффициентов из списка, определённого во время основного прохода кодера, а также происходит определение порядка передачи коэффициентов.

Разработанные выше методы могут быть использованы для обработки видеопоследовательностей. При этом будем считать, что любая последовательность кадров может быть представлена в виде 3D-матрицы отсчётов, и, соответственно, обработана с помощью специального трёхмерного вейвлет-преобразования (рис. 7).

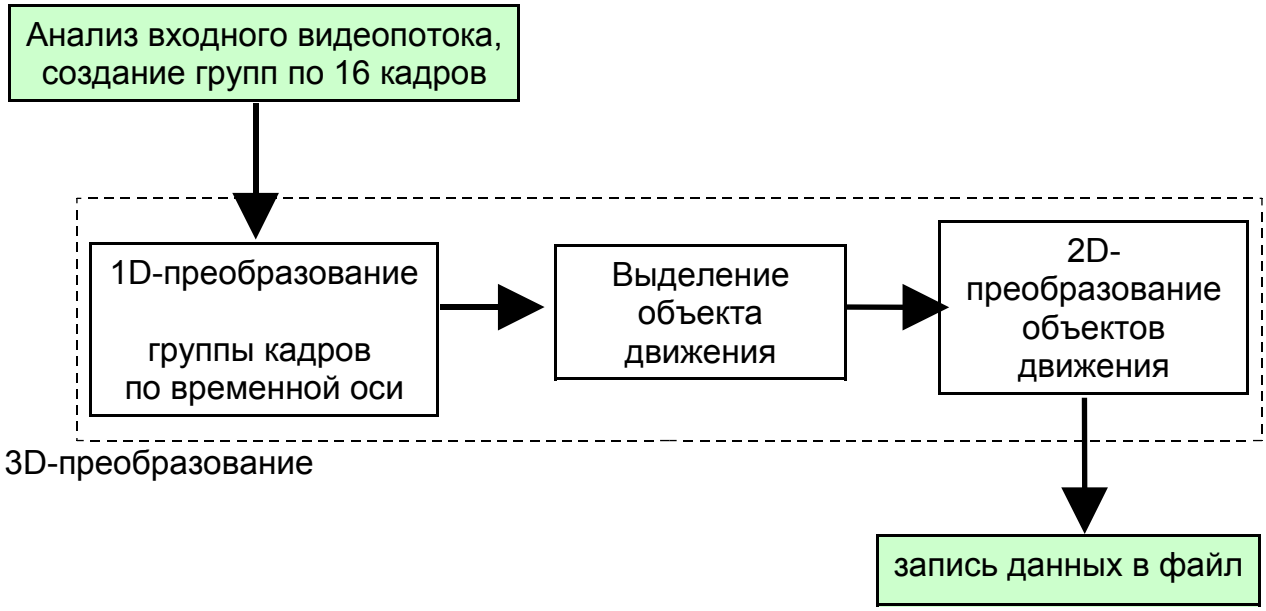

Рис.7. Структурная схема предложенного метода обработки видеопоследовательности

Следует отметить, что обрабатываемую последовательность представляют в виде групп кадров, по 16 кадров в каждой. Такой объём анализируемой группы кадров является разумным компромиссом между скоростью обработки и степенью компрессии данных. В то же время векторы из 16 элементов могут быть эффективно обработаны с помощью 4 рекурсивных вызовов вейвлет-преобразования Баттерворта.

Одномерное вейвлет-преобразование Баттерворта кадров по временной оси в явном виде отделяет информацию о неподвижном фоне и движущемся объекте (рис. 8).

Выделение объекта движения состоит в определении координат прямоугольного окна, содержащего наибольшее количество информации по критерию превышения порога в 90% от всей энергии, содержащейся в кадре, причём измерения данного окна определяются кратными 16 для наиболее эффективной работы вейвлет-преобразования Баттерворта.

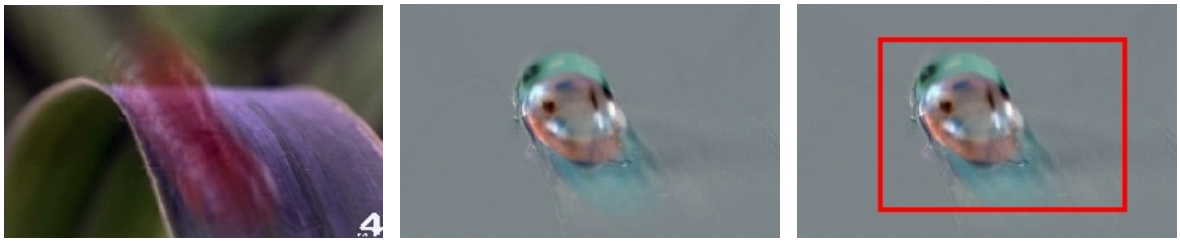

Рис. 8. Выделение объекта движения после вейвлет-преобразования

Важно отметить, что битовый поток, формируемый описываемым методом, обладает особой гибкостью – как внутри кадра, так и между кадрами, во временной области. Это означает, что возможны различные пути прогрессивной загрузки видеопоследовательности: как поочерёдная загрузка всех кадров, так и одновременная. В первом варианте в случае обрыва связи восстановленное изображение будет высокого качества, но будет размыт объект движения. Во втором варианте всё движение будет восстановлено полностью, но общее качество изображения будет низким. Очевидно, что в случае успешной загрузки всех кадров целиком видеопоследовательность будет восстановлена точно и с высоким качеством.

Данное свойство позволяет добиться высокой помехоустойчивости передаваемого по радиоканалу потока данных. В общем случае адаптивный алгоритм прогрессивной загрузки видеопоследовательности выглядит следующим образом:

Серверная часть:

1.Определить характер движения с помощью вычисления суммарного отклонения значений яркостей пикселей в первом и последнем кадрах группы:

а. $$D = \frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left(\left|Y_{15}(i,j) - Y_0(i,j)\right|\right)}{M \cdot N \cdot 255^2 \cdot 3}$$

2.Аппроксимировать весовые коэффициенты K_F, несущие информацию о значимости кадров, с помощью выражения:

$$K'_F = 1 - (1 - D)F = 1 - F + DF, \quad F = 0,1, \ldots, 15.$$

а. $$K_F = \begin{cases} K'_F, & K'_F \geq 0, \\ 0, & K'_F < 0. \end{cases}$$

3.Записать информацию о характере движения и весовые коэффициенты в служебном заголовке группы кадров.

Клиентская часть:

4.Принять информацию из служебного заголовка группы кадров.

5.В соответствии с полученными весовыми коэффициентами начать последовательный приём кадров в объёме, соответствующим весовым коэффициентам.

Для каждого принимаемого кадра:

6.Принять $n = \left\lfloor \log_2(\max_{(i,j)}\left|Y(i,j)\right|) \right\rfloor$.

7.Принять μ_n, координаты $\eta(k)$ и знаки коэффициентов $Y(\eta(k))$, для которых $2^n \leq \left|Y(\eta(k))\right| < 2^{n+1}$.

8.Принять *n*-й значимый бит всех коэффициентов $Y(i,j)$, для которых $|Y(i,j)| \geq 2^{n+1}$ (т.е. тех, чьи координаты были приняты на предыдущем проходе).

9.Уменьшить *n* на 1 и идти на шаг 7.

10.Восстановить видеопоследовательность на основе принятых (или частично принятых) кадров с вейвлет-коэффициентами.

Предложенный метод позволяет отказаться от «привязки» абонента к какому-либо выбранному закодированному видеопотоку с фиксированной скоростью, предоставляя абонентам сервис с наилучшим возможным качеством, используя ту часть единого потока данных, которая может быть принята при данной скорости абонентского подключения.

Аналогичные принципы использованы для обработки аудиосигналов, представляющих собой стандартные векторы отсчётов.

Предложенные алгоритмы являются неотъемлемой частью клиент-серверной архитектуры, которая должна быть реализована в сети мобильной связи при запуске услуг в эксплуатацию.

Поскольку все приведённые решения реализованы на программном уровне, существует возможность запуска сервисов с минимальными стартовыми капиталовложениями и низкими текущими издержками, что позволит существенно повысить коммерческую эффективность запускаемых сервисов.

В четвёртой главе рассмотрены аспекты применения разработанных методов при построении мультимедийных услуг в сетях мобильной связи, при этом ключевую роль играют степень компрессии данных, помехоустойчивость битового потока и качество восстановленного сигнала.

В качестве объективного параметра оценки качества принято пиковое отношение сигнала к помехе PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) для группы кадров.

Рассмотрим случай, когда в силу каких-либо обстоятельств на вход декодера подана не вся группа кадров, а лишь несколько первых кадров. Например, эта ситуация может возникнуть при резком ухудшении канала связи, когда скорость резко падает, и принять весь запланированный пакет данных клиентское приложение уже не в состоянии. В табл. 2 приведены результаты экспериментов.

Таблица 2

Восстановление при неполном приёме закодированных кадров

Количество кадров на входе	Потери кадров в группе, %	Эквивалент скорости потока, кбит/с	PSNR, дБ
16	0	256	34,3
8	50	128	28,9
4	75	64	26,4
2	87,5	32	24,3

Благодаря гибкости предложенного алгоритма, даже в случае существенного снижения скорости принимаемого потока данных декодер в состоянии восстановить фон в видеопоследовательности и движение объектов.

Кадры видеопоследовательности содержат наиболее важную информацию в достаточно малой области низких частот, и, вследствие

прогрессивного кодирования, мало подвержены влиянию различных ошибок. В то же время, вейвлет-преобразование, применённое к временной области, переносит наиболее важную глобальную информацию, содержащуюся в группе кадров, в первые два кадра (первый – фон, второй – базовая информация о движении). Это свойство, очевидно, окажет сильное влияние на оценку помехоустойчивости закодированного потока.

Таблица 3

Оценка помехоустойчивости
при внесении случайных битовых ошибок в видеопоследовательность

BER	Фрагмент	Оценка PSNR, дБ			
		MPEG-4	DivX511	H.263	Wavelet
10^{-2}	1	18,4	18,1	16,7	26,1
	2	23,2	21,1	20,1	28,3
10^{-3}	1	24,2	24,1	23,8	28,8
	2	26,8	26,4	25,6	30,5
10^{-4}	1	30,9	29,9	28,7	31,1
	2	31,7	30,5	28,9	37,3
0	1	32,1	31,8	30,0	31,9
	2	34,5	35,2	32,7	37,8

В табл. 3-5 приведены результаты восстановления видеосигналов при различных компьютерных моделях внесения ошибок в процессе передачи по радиоканалу – случайных битовых ошибках, потере пакета и потере синхронизации битового потока. Эксперименты были произведены на двух различных тестовых файлах как для предложенного алгоритма, так и для широко распространённых коммерческих алгоритмов – MPEG-4, DivX511, H. 263.

Для других видов мультимедийной информации: статичных изображений и аудиопоследовательностей, результаты качественно не отличались.

Предложенные алгоритмы сжатия мультимедийной информации показали более высокую помехоустойчивость по сравнению с широко распространёнными алгоритмами, обеспечив при этом сравнимую или более высокую степень компрессии данных.

Таблица 4

Оценка помехоустойчивости
при потере пакетов данных во время передачи видеопоследовательности

Потеря пакета, байт	Фрагмент	Оценка PSNR, дБ			
		MPEG-4	DivX511	H.263	Wavelet
64	1	14,5	16,7	14,1	27,2
	2	15,7	17,2	16,1	28,4
16	1	21,0	20,1	19,8	28,9
	2	24,9	23,7	22,9	31,0
4	1	29,7	28,1	27,9	31,8
	2	29,9	29,0	28,4	37,5
0	1	32,1	31,8	30,0	31,9
	2	34,5	35,2	32,7	37,8

Таблица 5

Оценка помехоустойчивости
при потере синхронизации данных во время передачи группы кадров

Сдвиг, байт	Фрагмент	Оценка PSNR, дБ				
		MPEG-4	DivX511	H.263	Wavelet	
					внутрикадр.	межкадр.
64	1	11,0	11,9	10,8	24,1	17,9
	2	11,7	12,5	11,9	24,9	19,0
16	1	11,0	11,9	10,8	25,9	19,1
	2	11,7	12,5	11,9	26,1	20,4
4	1	11,0	11,9	10,8	28,0	21,7
	2	11,7	12,5	11,9	29,4	24,1
0	1	32,1	31,8	30,0	31,9	31,9
	2	34,5	35,2	32,7	37,8	37,8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа завершена со следующими результатами:

1.Разработаны альтернативные алгоритмы обработки мультимедийной информации (звука, статичных изображений, видеопоследовательностей), основанные на математическом аппарате вейвлет-преобразований, по степени компрессии данных и скорости работы не уступающие существующим широко распространённым алгоритмам, но обеспечивающие значительно более высокую помехоустойчивость генерируемого потока данных.
2.Проведены эксперименты по оценке степени компрессии и качества восстановленных сигналов для ряда типовых алгоритмов и предложенных альтернативных алгоритмов.
3.Проведены эксперименты по оценке помехоустойчивости сгенерированного предложенными алгоритмами и типовыми алгоритмами потока данных для следующих основных случаев появления ошибок в канале связи: случайные битовые ошибки, потери пакетов, сбои в синхронизации принимаемого потока. Эксперименты проведены при различных условиях для получения наиболее объективной оценки.
4.Даны рекомендации по организации мультимедийных сервисов на основе предложенных алгоритмов, использующих единые мастер-файлы для всех возможных типов абонентских устройств и скоростей подключений.
5.Предложена к реализации в рамках IMS мультимедийная услуга «Мобильное телевидение», построенная на базе вейвлетных алгоритмов обработки информации.
6.Создано прикладное программное обеспечение для разработки новых мультимедийных услуг в сетях подвижной связи на основе использования вейвлет-преобразований.

На основе полученных результатов можно утверждать, что применение математического аппарата вейвлет-преобразования для сжатия мультимедийной информации с потерями является более эффективным, чем использование аппарата дискретно-косинусного преобразования Фурье, поскольку позволяет добиться лучшего качества восстановленного изображения при сопоставимом размере файла, а также, благодаря лифтинг-схеме, позволяет существенно снизить нагрузку на процессор и оперативную память. Перечисленные преимущества вейвлет-преобразований являются особенно важными при построении на их основе сервисов для мобильных устройств, которые являются устройствами с ограниченными вычислительными возможностями.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Родионов И.В. Позиционирование GSM-абонентов. // Мобильные системы. 2004. №3. С. 25-27

2. Родионов И.В. Сжатие изображений в сетях мобильной связи. // Тезисы 54 НТК СПбГУТ, 2004.

3. Родионов И.В. Аспекты выбора метода сжатия видеосигнала в системе сотовой связи 3G. // Тезисы 56 НТК СПбГУТ, 2005.

4. Rodionov I. Problems of streaming video service organisation in mobile networks. // Proceedings 2005 of St.Petersburg IEEE Chapters '110 Anniversary of Radio Invention' Volume 2, IEEE Russia Northwest 2005, С. 169-172,

5. Родионов И.В. Проблема эффективной передачи малоформатного видео в сетях сотовой связи 3-го поколения. // Proceedings 2005 of St.Petersburg IEEE Chapters '110 Anniversary of Radio Invention' Volume 3, IEEE Russia Northwest 2005, С. 32-36
http://www.procongress.info/events/radio_pr/files/rodionov.doc

6. Родионов И.В. Передача малоформатного потокового видео в сетях мобильной связи. // Мобильные телекоммуникации. 2005. №10 спец. С. 56-59

7. Родионов И.В. Использование вейвлет-преобразований для эффективного сжатия цветных цифровых изображений. // Тезисы 58 НТК СПбГУТ, 2006.

8. Родионов И.В. Эффективное использование канального ресурса при передаче потокового видео. // Международный телекоммуникационный симпозиум «Мобильная связь». Сборник трудов, СПбГУТ // СПб, 2006. С.106-110

9. Rodionov I. Building an efficient mobile video streaming service. // Proceedings of “2006 IEEE Tenth International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2006)”, С.199-202
http://ieeexplore.ieee.org/iel5/11112/35627/01689470.pdf?tp=&arnumber=1689470&isnumber=35627

Подписано к печати 10.11.2006
Объем 1 печ. л. Тираж 70 экз. Зак. 43

Тип. СПбГУТ. 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61