

УДК 681.3.014

К вопросу робастности средств JPWL в условиях пакетных ошибок

С. В. Скороход, О. А. Касьянов
Южный федеральный университет
sss64@mail.ru

Скороход С. В., Касьянов О. А. К вопросу робастности средств JPWL в условиях пакетных ошибок. Рассматривается задача передачи видео в формате jpeg 2000 с применением средств помехоустойчивого кодирования JPWL по зашумленному каналу в условиях возникновения пакетных ошибок. Основная проблема – восстановление потерянного пакета данных средствами JPWL. Поставлена задача проведения экспериментального исследования робастности средств JPWL, под которой понимается способность корректировать пакетные ошибки. Методика исследования заключается в моделировании многократной передачи защищенного средствами JPWL видео кадра и подсчете статистики декодирования принятого кодового потока. Варьируемыми параметрами исследования являются: применяемые для защиты коды Рида-Соломона, количество тайлов изображения, процент потерь RTP (Real-time Transport Protocol) пакетов. Рассматриваются два способа защиты: стандартный и комбинация стандартного варианта с методом внутрикадрового чередования. Исследуемыми параметрами эксперимента являются средние значения процента полностью и частично восстановленных тайлов от общего количества тайлов в кодовом потоке. Описан разработанный для целей исследования программный комплекс, в который включаются кодер и декодер JPWL, средства разбиения кодового потока на RTP пакеты, средства моделирования пакетных потерь, средства сборки кадров из RTP пакетов. Описаны укрупненная схема функционирования кодера и декодера JPWL. Предложен метод внутрикадрового чередования кодового потока, предназначенный для повышения его устойчивости к пакетным ошибкам. В процессе исследования выдвинуты две гипотезы, которые были подтверждены полученными экспериментальными результатами. Гипотеза 1: стандартные средства JPWL не способны корректировать пакетные ошибки. Гипотеза 2: стандартные средства JPWL, применяемые совместно с алгоритмом чередования, могут восстанавливать пакетные ошибки. Побочным результатом исследования является вывод о некотором улучшении восстанавливаемости тайлов с ростом количества тайлов в кодовом потоке.

Ключевые слова: : jpeg 2000, JPWL, пакетные ошибки, помехоустойчивое кодирование.

Введение

В работе рассматривается общая проблема передачи видео в формате jpeg 2000 [1] по зашумленному каналу, в частности, по беспроводным сетям. Передача связана с пересылкой сетевых пакетов, несущих фрагменты кодированного видео потока. В результате зашумления канала некоторые пакеты могут быть искажены и отброшены. Следствием таких пакетных ошибок является отсутствие смежных фрагментов видео данных в приемнике, что либо затрудняет их декодирование, либо делает декодирование невозможным. Для защиты кодового потока jpeg 2000 при передаче по беспроводным сетям разработана спецификация ITUT.810 [2]. В ней описан набор средств, применяемых для одиночного изображения, называемых JPWL. Поскольку видео формата

jpeg 2000 представляет собой последовательность независимых друг от друга изображений [3], JPWL используется также для защиты видео данных.

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований способности средств JPWL корректировать пакетные ошибки. Под пакетной ошибкой понимается потеря как минимум одного сетевого пакета с данными при передаче от источника к приемнику [4]. Для проведения такого исследования разработан специализированный программный комплекс, который способен выполнять кодирование и декодирование JPWL, разбиение кодового потока JPWL на последовательность сетевых пакетов и обратную сборку кодового потока JPWL из сетевых пакетов с моделированием их потерь. В работе также рассматривается метод чередования, который может существенно повысить способность стандартных средств корректировать пакетные

ошибки, что также является предметом экспериментального исследования.

Исследуемый кодовый поток JPEG 2000

Методика исследования опирается на набор средств защиты JPWL, предназначенных для защиты кодового потока видео кадра (Скороход, Артюхова, 2014). При кодировании в формате jpeg 2000 кадр может быть разбит на несколько прямоугольных фрагментов (тайлов), каждый из которых кодируется отдельно. Структура кодового потока изображена на рис. 1 [5].

SOC	Основной заголовок	Заголовок тайла 1	Данные тайла 1	...	Заголовок тайла N	Данные тайла N	EOC
-----	--------------------	-------------------	----------------	-----	-------------------	----------------	-----

Рисунок 1 – Кодовый поток jpeg 2000

Маркеры SOC и EOC обозначают начало и конец конкретного кадра. Основной заголовок содержит данные об изображении в целом: размер, цветовая схема, количество тайлов и др. Заголовок тайла включает информацию о прямоугольном фрагменте изображения, в том числе о его привязке к координатной сетке. Данные тайла – это собственно закодированный фрагмент изображения.

Средства JPWL могут использовать два способа защиты [2]:

- контрольные суммы CRC-16 или CRC-32 позволяют только обнаружить присутствие ошибок в данных при использовании минимального объема кодов четности;

- коды Рида-Соломона [6] $RS(n,k)$ (RS -коды) предназначены не только для обнаружения, но и для исправления $(n-k)/2$ искаженных данных. Здесь n – длина кодового слова в байтах, состоящего из защищаемого фрагмента данных и кодов четности, а k – количество байт защищаемых данных. Код $RS(n,k)$ позволяет исправить до $(n-k)/2$ искаженных байт в кодовом слове. Спецификацией ITUT.810 предусмотрено использование целого семейства RS -кодов от наиболее «слабых» $RS(37,32)$ до наиболее «сильных» $RS(128,32)$ и $RS(160,64)$.

Поскольку контрольные суммы не могут использоваться для защиты от пакетных ошибок, в настоящей работе рассматривается использование только RS -кодов.

Защита кодового потока выполняется добавлением в него специальных сегментов. Предусмотрены четыре вида сегментов.

- EPC – возможность защиты от ошибок. Вставляется только в основной заголовок. Его задача – сообщить декодеру, что в кодовом потоке присутствуют средства JPWL. Содержит описание использованных методов защиты и, при необходимости, их параметры.

- EPB – блок защиты от ошибок. Собственно реализует защиту данных с

использованием RS -кодов. Вставляется в основной заголовок и заголовки тайлов. Содержит параметры применяемой защиты и избыточные коды четности.

- ESD – дескриптор чувствительности. Задает степень чувствительности к ошибкам участков кодового потока. Чем больший вклад в формируемое изображение вносит фрагмент кодового потока, тем больше его чувствительность.

- RED – дескриптор остаточной ошибки. Используется только в заголовках декодированного кодового потока. Описывает участки, которые либо полностью восстановлены, либо не были восстановлены декодером JPWL и содержат остаточные ошибки.

Сегмент ESD используется только кодером JPWL с целью реализации более надежной защиты наиболее ценных участков кодового потока. Для декодера JPWL он не несет никакой полезной информации, существенно увеличивая при этом размеры заголовков и всего кодового потока в целом. В связи с этим при передаче видео целесообразно отказаться от использования сегмента ESD [7] и в настоящем исследовании этот сегмент не используется.

План исследования

Методика исследования заключается в моделировании передачи защищенного средствами JPWL видео, состоящего из 1000 кадров одного и того же изображения размером 1024x768 пикселей, предварительно закодированного кодером jpeg 2000 системы OpenJpeg 2.1.0 [8]. Полученный кодовый поток загружается в разработанную автором исследовательскую программную систему, в которой он последовательно проходит следующие этапы обработки:

- кодирование JPWL;
- разбиение на RTP-пакеты, соответствующие спецификации RFC 5371 [9, 10];
- моделирование потерь пакетов по заданному проценту потерь;
- сборка кодового потока из оставшихся пакетов;
- декодирование JPWL и подсчет статистики декодирования.

Неизменными параметрами в исследовании являются способ защиты заголовков и размер RTP пакета. Для защиты основного заголовка и заголовков тайлов применяются RS -коды, предопределенные в спецификации T.810. Размер RTP пакета равен 1024 байт.

Переменными параметрами исследования являются виды RS -кодов, применяемых для защиты данных, процент потери пакетов и количество тайлов, на которые разбивается

изображение (определяется выбранным размером тайла). Программа исследования приведена в табл. 1.

Таблица 1. Программа исследования

Количество тайлов (размер тайла)	RS-коды для защиты данных	Процент потерь RTP пакетов
12 (256x256) 48 (128x128) 192 (64x64)	RS(37,32), RS(64,32), RS(96,32), RS(128,32)	1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

Статистическими результатами декодирования выступают количество полностью и частично восстановленных тайлов кодового потока.

Следует отметить, что наиболее важной частью кодового потока является основной заголовок. Поэтому для его дополнительной защиты обычно применяются специальные меры, такие как избыточное дублирование пакетов, содержащих его фрагменты, в связи с чем, в данном исследовании пакетные ошибки не будут применяться к пакетам основного заголовка.

Исследовательский программный комплекс

Для данного исследования был разработан специализированный программный комплекс, состоящий из двух модулей: подготовительного и моделирующего. Схема функционирования комплекса изображена на рис. 2.

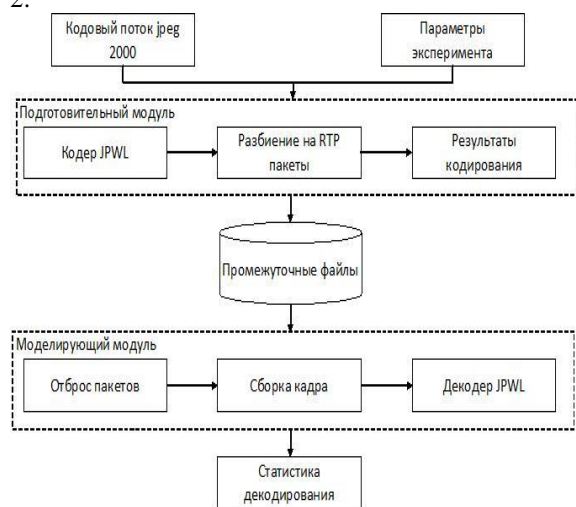


Рисунок 2 – Структура программного комплекса

Исходными данными для подготовительного модуля является кодовый

поток jpeg 2000, предварительно создаваемый при помощи OpenJpeg 2.1.0, содержащий 12, 48 или 192 тайла в соответствии с программой исследования, а также набор параметров исследования, в которых задается режим кодирования (с использованием чередования или без) и процент отбрасываемых пакетов. Подготовительный модуль выполняет кодирование JPWL, при необходимости – чередование, разбивает полученный кодовый поток на RTP пакеты в соответствии со спецификацией RFC 5371 и выполняет выгрузку в промежуточные файлы полученную последовательность пакетов, их параметры (количество, длины и т.д.) и параметры исследования.

Моделирующий модуль загружает из промежуточных файлов подготовленную последовательность пакетов и параметры исследования. Далее выполняются циклические итерации отброса пакетов, сборки кадра и его обработки декодером JPWL. Декодер подсчитывает количество полностью и частично восстановленных тайлов. После выполнения 1000 подобных итераций вычисляется среднее арифметическое этих величин, характеризующее способность декодера восстановить кодовый поток при заданных параметрах кодирования и заданном уровне пакетных ошибок.

Главными звеньями данного комплекса являются кодер и декодер JPWL. В данном исследовании используются библиотеки кодера и декодера, разработанные автором для системы видеотрансляции [11, 12].

Обобщенная схема работы кодера JPWL приведена на рис. 3.

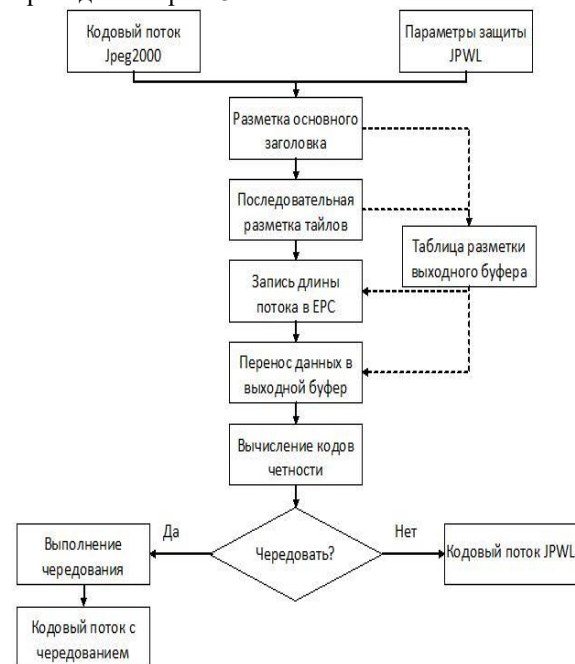


Рисунок 3 –Кодер JPWL

Входными данными являются собственно кодový поток `jpeg 2000` и параметры используемых средств защиты JPWL. Кодер выполняет разметку основного заголовка и каждого последующего тайла в выходном буфере. При этом данные о параметрах маркеров JPWL и их местоположении заносятся в таблицу разметки выходного буфера. После окончания прохода входного буфера вычисляется длина выходного потока как сумма длины входного потока и длин всех добавляемых в него маркеров. Полученное значение длины помещается в таблицу разметки маркера EPC. Далее выполняется копирование на свои места в выходном потоке исходных данных и параметров маркеров JPWL. Последним шагом кодирования является вычисление и вставка в выходной поток кодов четности маркеров EPB. После этого шага формируется кодový поток JPWL, удовлетворяющий требованию обратной совместимости, т.е. декодер `jpeg 2000` способен декодировать данный поток, если в нем нет искажений. При применении алгоритма чередования дополнительно выполняется чередование, результатом которого является кодový поток JPWL, удовлетворяющий требованию обратной совместимости с расширением: декодер `jpeg 2000` способен декодировать такой поток только при наличии декодера JPWL.

Обобщенная схема работы декодера JPWL изображена на рис. 4.

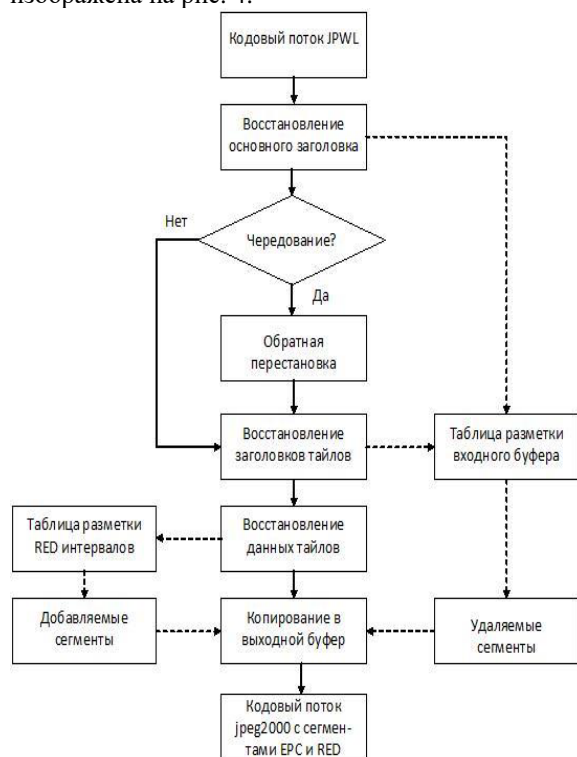


Рисунок 4 – Декодер JPWL

Декодер JPWL выполняет декодирование предварительно собранного кадра, последовательно анализируя основной заголовок и заголовки тайлов. При невозможности восстановления основного заголовка весь кадр отбрасывается. Если основной заголовок успешно восстановлен, то анализ сегмента EPC позволяет определить применяется чередование кодového потока или нет.

Если чередование применяется, декодер сначала выполняет обратную перестановку, и только после этого переходит к анализу тайлов. При невозможности восстановления заголовка тайла пропускается весь тайл и ищется заголовок следующего тайла. При этом пропущенный фрагмент помечается в таблице разметки входного буфера как испорченный. В случае успешного восстановления основного заголовка или заголовка тайла в таблицу разметки заносятся параметры и местоположение всех найденных маркеров JPWL. Восстановление данных тайла выполняется только в случае успешного восстановления его заголовка. При этом часть данных тайла может оказаться скорректированной, а часть – нет. В этом случае создаются записи в таблице RED интервалов, которые описывают начало и конец как исправленных, так и не исправленных фрагментов данных.

По завершении просмотра входного буфера выполняется копирование данных в выходной буфер. При этом выполняется пропуск всех входных маркеров JPWL. При наличии записей в таблице RED интервалов в основной заголовок вставляется сегмент EPC, сигнализирующий о присутствии в кодovém потоке сегментов RED, а в заголовки частично восстановленных тайлов добавляются сегменты RED, описывающие адреса восстановленных и не восстановленных участков.

Подсчет статистики декодера JPWL выполняется на основе результатов восстановления заголовков и данных тайлов. Если после декодирования заголовков тайла не содержит сегмента RED, такой тайл считается полностью восстановленным. Если сегмент RED присутствует – тайл восстановлен частично. Наличие сегмента RED ничего не говорит о качестве данных в частично восстановленном тайле, поэтому в данном исследовании этот вопрос не затрагивается.

Внутрикадровое чередование

Кодер и декодер JPWL поддерживают как стандартный способ защиты, соответствующий спецификации T.810, так и алгоритм чередования, не относящийся к этой спецификации [13]. Сущность алгоритма заключается в том, что основной заголовок остается без изменений, а остальная часть кодového потока подвергается

перестановке. Основной заголовок содержит сегмент EPC, в котором записана общая длина кодового потока. Разность общей и длины основного заголовка определяет длину данных, которые должны быть переставлены. Эти данные рассматриваются как прямоугольная матрица, заполненная «по строкам». Данные в этой матрице переставляются так, чтобы она оказалась заполнена «по столбцам».

Пусть L – общая длина кодового потока, M – длина основного заголовка. Тогда согласно [14] количество столбцов и строк матрицы вычисляется по формулам:

$$N_C = \lceil \sqrt{L - M} \rceil, N_R = \left\lceil \frac{L - M}{N_C} \right\rceil.$$

Следует отметить, что в результате такой перестановки фактическая длина кодового потока несколько увеличивается на стороне кодера, поскольку в матрицу может быть включено до $N_R - 1$ «лишних» элементов. Кодер и декодер JPWL должны учитывать этот факт.

Отличие предлагаемого способа чередования от описанного в [14] заключается в том, что в данном случае чередованию подвергаются весь кодовый поток за исключением основного заголовка. В [14] предлагается перестановка только кодов четности, записанных в сегментах EPB.

Анализ результатов исследования

В исследовании проверяются две основные гипотезы.

Гипотеза 1. Стандартные средства JPWL, соответствующие спецификации T.810, не способны корректировать пакетные ошибки. Критерием, подтверждающим эту гипотезу, является обратная линейная зависимость процента пакетных потерь и суммарного количества полностью и частично восстановленных тайлов.

Проанализируем стандартный способ защиты с применением RS-кодов. Кодовое слово $RS(n, k)$ состоит из двух частей расположенных в разных частях кодового потока. Первую часть составляют избыточные коды четности длиной $n - k$ байт, которые расположены в основном заголовке или заголовках тайлов. Вторая часть – k информационных байт, защищаемых от искажения. При потере пакета возможны три варианта [13].

1. Обе части кодового слова потеряны – восстановление невозможно.

2. Потеряны избыточные коды четности – восстановление невозможно.

3. Потеряны только информационные байты – восстановление возможно только если $k \leq (n - k) / 2$. Этому условию соответствуют только коды $RS(160, 64)$, $RS(80, 25)$, $RS(40, 13)$, применяемые для защиты заголовков тайлов, и $RS(96, 32)$,

$RS(112, 32)$, $RS(128, 32)$, применяемые для защиты данных тайлов. Остальные 14 предопределенных стандартом кодов не способны произвести восстановление.

Анализируемые в исследовании способы защиты кодами $RS(37, 32)$, $RS(64, 32)$ не способны скорректировать данные ни в одном из перечисленных вариантов. При применении $RS(96, 32)$ и $RS(128, 32)$ возможна коррекция данных в варианте 3, однако расплатой за это является значительное увеличение заголовков тайлов, что делает их гораздо уязвимее и может нивелировать возможный положительный эффект.

Гипотеза 2. Стандартные средства JPWL, применяемые совместно с алгоритмом чередования, могут восстанавливать пакетные ошибки. Способность восстановления зависит от используемых RS-кодов и процента пакетных потерь. Критерием, подтверждающим эту гипотезу, является нелинейная зависимость процента пакетных потерь и суммарного количества полностью и частично восстановленных тайлов, при которой до определенного уровня потерь наблюдается стопроцентное восстановление тайлов.

Для проверки гипотезы 1 проведем эксперимент 1. Эксперимент проводится над кодовым потоком jpeg 2000, содержащем 48 тайлов, к которому применяется стандартная защита. Применяемые RS-коды и моделируемые проценты потерь RTP пакетов заданы в программе исследований. Результаты эксперимента приведены в табл. 2 с округлением до целых величин. Для каждого вида RS-кодов указан размер кодового потока JPWL, средний процент полностью и частично восстановленных тайлов.

Таблица 2. Результаты эксперимента 1

Потери пакета в %	RS(37,32) 1025691 байт		RS(64,32) 1767653 байт		RS(96,32) 2647205 байт		RS(128,32) 3526937 байт	
	Полн	Част	Полн	Част	Полн	Част	Полн	Част
1	81	18	71	28	69	30	58	40
3	53	44	34	63	35	61	21	76
5	35	60	18	77	16	79	8	85
10	12	78	4	86	4	86	1	87
15	5	81	1	84	1	84	0	81
20	2	78	0	81	0	80	0	76
25	1	75	0	76	0	75	0	71
30	0	69	0	70	0	70	0	65
35	0	64	0	65	0	64	0	60
40	0	59	0	59	0	61	0	54
45	0	55	0	55	0	56	0	50
50	0	50	0	49	0	51	0	43

Данный результат полностью подтверждает гипотезу 1. Более того, надежды на то, что RS-коды $RS(96, 32)$ и $RS(128, 32)$ дадут лучший результат по сравнению с $RS(37, 32)$ и

RS(64,32) не оправдались по причине чрезмерного увеличения заголовков тайлов при применении этих кодов.

На рис. 5 изображены графики зависимости суммарного процента полностью и частично восстановленных тайлов (ордината) от процента пакетных ошибок (абсцисса) для эксперимента 1.

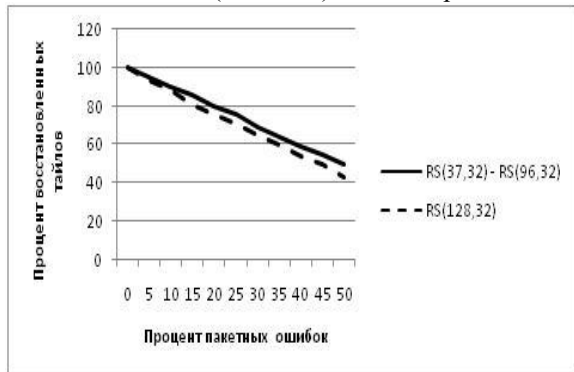


Рисунок 6 –Зависимость для эксперимента 1

В рамках проверки гипотезы 1 проводились также эксперименты 2 и 3, в которых использовался кодовый поток jpeg 2000, состоящий соответственно из 12 и 192 тайлов. Остальные условия соответствовали эксперименту 1. Результаты экспериментов 2 и 3 практически аналогичны приведенным в табл.2, с незначительным улучшением при большем количестве тайлов и незначительном ухудшении – при меньшем.

Полученные зависимости полностью соответствуют критерию, подтверждающему гипотезу 1 во всех экспериментах. Кроме того, можно сделать вывод о том, что с увеличением количества тайлов увеличивается процент их восстановления. Это объясняется тем, что чем больше тайлов, тем меньше их размер, что уменьшает вероятность повреждения конкретного тайла при пакетной ошибке. Наоборот, чем меньше тайлов, тем больше их размер и более уязвимыми для пакетной ошибки они становятся.

Для проверки гипотезы 2 проведем эксперимент 4. Исходные данные для него соответствуют эксперименту 1, но стандартный способ защиты комбинируется с алгоритмом чередования. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты эксперимента 4

Потери пакета в %	RS(37,32)		RS(64,32)		RS(96,32)		RS(128,32)	
	Полн	Част	Полн	Част	Полн	Част	Полн	Част
1	39	61	100	0	100	0	100	0
3	0	100	100	0	100	0	100	0
5	0	100	100	0	100	0	100	0
10	0	100	98	2	100	0	100	0

15	0	100	28	72	100	0	100	0
20	0	100	0	100	85	15	100	0
25	0	98	0	99	7	91	83	15
30	0	92	0	92	0	92	7	84
35	0	72	0	73	0	72	0	70
40	0	37	0	39	0	39	0	35
45	0	11	0	11	0	11	0	9
50	0	1	0	1	0	1	0	1

Анализ табл. 3 подтверждает гипотезу 2. Действительно, при уровне пакетных потерь до 25% любые RS-коды восстанавливают практически все тайлы, изменяется лишь распределение полностью и частично восстановленных тайлов. С дальнейшим ростом пакетных потерь процент восстановленных тайлов начинает снижаться. В эксперименте 4 проявилась еще одна явная зависимость: при применении более «длинных» RS-кодов качество восстановления улучшается, прежде всего за счет большего процента полностью восстановленных тайлов.

На рис. 6 изображен график зависимости суммарного процента полностью и частично восстановленных тайлов (ордината) от процента пакетных ошибок (абсцисса) для эксперимента 4. Полученные зависимости полностью соответствуют критерию, подтверждающему гипотезу 2.

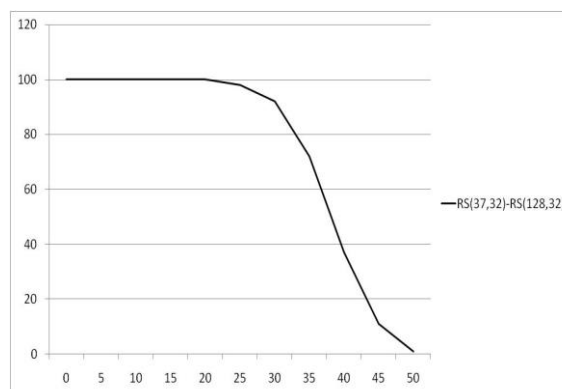


Рисунок 6 –Зависимость для эксперимента 4

В рамках данного исследования были проведены эксперименты 5 и 6, условия которых совпадали с условиями эксперимента 4, но был использован кодовый поток jpeg 2000, содержащий соответственно 12 и 192 тайла. Результаты этих экспериментов во многом совпадают с таблицей 5 и рисунком 4 с некоторым ухудшением при 12 тайлах и улучшением при 192.

Заключение

Данное исследование проведено на программном комплексе, разработанном на языке Си в системе программирования Microsoft Visual Studio 2008. Полученные результаты могут быть

использованы для выбора оптимальных параметров JPWL в зависимости от характеристик канала передачи данных.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Набор стандартных средств JPWL, соответствующих спецификации T.810 является недостаточным для эффективной коррекции пакетных ошибок.

2. Сочетание стандартных средств JPWL с предложенным в работе алгоритмом чередования позволяет успешно корректировать пакетные ошибки.

3. Увеличение количества тайлов незначительно повышает устойчивость кодового потока к пакетным ошибкам.

Направлением дальнейших исследований является экспериментальное исследование влияния пакетных ошибок на качество декодированного изображения в формате jpeg 2000. Для проведения этого исследования требуется разработать декодер jpeg 2000, способный декодировать частично восстановленный кодовый поток, в котором могут отсутствовать некоторые тайлы, а в заголовках имеющихся тайлов присутствовать сегменты остаточной ошибки RED. К сожалению, известные доступные декодеры, такие как JasPer, OpenJpeg не могут декодировать такой кодовый поток.

Работа выполнена в рамках выполнения базовой части государственного задания в сфере научной деятельности (проект № 3442 "Информационно-алгоритмическое обеспечение систем цифрового управления, автономной высокоточной навигации и технического зрения для перспективных летательных аппаратов: разработка теоретических основ проектирования, алгоритмов, способов эффективной и надежной программной реализации, использование высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры для экспериментального моделирования").

Литература

1. Taubman, D.S., Marcellin M.W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 773 p.

2. ITU-T Recommendation T.810. Information Technology JPEG2000 Image Coding System: Wireless. – Geneva: ITU, 2007. – 60 p.

3. Acharya T., Tsai P. JPEG 2000 standard for image compression: concepts, algorithms and VLSI architectures.– Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 274 p.

4. Скороход С. В., Степанова А. П. Некоторые аспекты технологии сетевого взаимодействия между передатчиком и приемником в процессе видео трансляции // Известия ЮФУ. Технические науки.– №4 (165), .2015.– с. 171–181.

5. ITU-T Recommendation T.800. Information Technology JPEG2000 Image Coding System: Core Coding System. – Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2003. – 212 p.

6. Морелос-Сагаса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение.– М: Изд-во Техносфера, 2005.– 320 с.

7. Skorokhod S.V., Kravchenko P.P., Khusainov N.S. Some aspects of JPWL implementation for streaming video // International Conference «Engineering & Telecommunication En&T 2014». November 26-28, 2014. Book of Abstracts. – Moscow– Dolgoprudny : MIPT, 2014. p. 135-136.

8. An open-source JPEG 2000 codec written in C. Retrieved April 6, 2016, from <http://www.openjpeg.org/>.

9. Network Working Group RFC 5371. RTP Payload Format for JPEG 2000 Video Streams. – The Internet Security (IETF), 2006. – 31 p.

10. Network Working Group RFC 3550. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications.— Schulzrinne: BlueCoatSystemsInc., 2003.– 89 p.

11. Дроздов С.Н., Жиглатый А.А., Кравченко П.П., Скороход С.В., Хусаинов Н.Ш. Об опыте реализации системы видеотрансляции в формате jpeg2000 и перспективах применения стандарта jpeg2000 для передачи видео и мультиспектральных данных с борта бпла// Известия ЮФУ. Технические науки.– 2014, №7 (156).– с. 161–170.

12. Дроздов С.Н., Жиглатый А. Н., Кравченко П. П., Лутай В. Н., Скороход С. В., Хусаинов Н. Ш. Стандарт JPEG 2000: базовые алгоритмы, примеры реализации и перспективы применения.– Ростов-на-Дону, Изд-во ЮФУ, 2014.– 255 с.

13. Skorokhod S. V. The experimental studies of the jpwL tools ability to correct burst errors in a noisy channel when transmitting video in a jpeg 2000 format // Journal of Theoretical and Applied Information TechNology, 10th November, Vol. 81, № 1, 2015. – p. 34-42.

14. ITU-T Recommendation T.810. Information Technology JPEG 2000 image coding system: Wireless. Amendment 1: IP based wireless networks.— Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2012.–6 p.

Скоруход С. В., Касьянов О. А. К вопросу робастности средств JPWL в условиях пакетных ошибок. Рассматривается задача передачи видео в формате jpeg 2000 с применением средств помехоустойчивого кодирования JPWL по зашумленному каналу в условиях возникновения пакетных ошибок. Основная проблема – восстановление потерянного пакета данных средствами JPWL. Поставлена задача проведения экспериментального исследования робастности средств JPWL, под которой понимается способность корректировать пакетные ошибки. Методика исследования заключается в моделировании многократной передачи защищенного средствами JPWL видео кадра и подсчете статистики декодирования принятого кодового потока. Варьируемыми параметрами исследования являются: применяемые для защиты коды Рида-Соломона, количество тайлов изображения, процент потерь RTP (Real-time Transport Protocol) пакетов. Рассматриваются два способа защиты: стандартный и комбинация стандартного варианта с методом внутрикадрового чередования. Исследуемыми параметрами эксперимента являются средние значения процента полностью и частично восстановленных тайлов от общего количества тайлов в кодовом потоке. Описан разработанный для целей исследования программный комплекс, в который включаются кодер и декодер JPWL, средства разбиения кодового потока на RTP пакеты, средства моделирования пакетных потерь, средства сборки кадров из RTP пакетов. Описаны укрупненная схема функционирования кодера и декодера JPWL. Предложен метод внутрикадрового чередования кодового потока, предназначенный для повышения его устойчивости к пакетным ошибкам. В процессе исследования выдвинуты две гипотезы, которые были подтверждены полученными экспериментальными результатами. Гипотеза 1: стандартные средства JPWL не способны корректировать пакетные ошибки. Гипотеза 2: стандартные средства JPWL, применяемые совместно с алгоритмом чередования, могут восстанавливать пакетные ошибки. Побочным результатом исследования является вывод о некотором улучшении восстанавливаемости тайлов с ростом количества тайлов в кодовом потоке.

Ключевые слова: : jpeg 2000, JPWL, пакетные ошибки, помехоустойчивое кодирование.

Skorokhod S. V., Kasyanov O. A. The experimental studies of the jpwL tools ability to correct burst errors in a noisy channel when transmitting video in a jpeg 2000 format. The discussion is made on the issue of transmitting video in a JPEG 2000 format using the JPWL tools (Wireless JPEG 2000) for noise-immunity coding through a noisy channel under conditions of burst errors occurrence. It is set out to conduct an experimental study on the ability of JPWL tools to correct burst errors. The methodology of the study consists in modeling a transmission of the JPWL protected video composed of 1,000 frames of one and the same image with a size of 1,024x768 pixels. The variable parameters of the study are as follows: the Reed-Solomon codes applied for protection, the number of image tiles, and the RTP (Real-time Transport Protocol) packet loss ratio. A standard variant of protection and a combination of the standard variant with an interleaving algorithm are considered. The final results of the experiment are the average values of the percentage of fully and partially restored tiles of the number of tiles in a code stream. A software system developed for the conduction of study is described, which includes the JPWL encoder and decoder, the tools for partitioning code streams into RTP packets, the tools for packet loss modeling, and the tools for frame assembly from the RTP packets. A macro flowchart of the JPWL encoder and decoder functioning is described. A method for the code stream interleaving is suggested, which is intended for increasing its resistance to burst errors. During the study process, the two hypotheses were put forward, which were confirmed by the experimental results obtained. The first hypothesis is that the standard JPWL tools are not able to correct burst errors. The second hypothesis is that the standard JPWL tools used in conjunction with the interleaving algorithm can recover burst errors. A side effect of the study is the conclusion on a slight improvement of the recoverability of tiles with the increasing number of tiles in a code stream.

Keywords: JPEG 2000, JPWL, burst errors, noise-immunity coding.

Статья поступила в редакцию 20.11.2016
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом