

УДК 621.391

Д.Ф. ДЯДЫК, А.Ю. СТРЮК

*Военный институт телекоммуникации и информатизации НТУУ «КПИ», Украина***МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Предложен метод аналитической оценки степени сжатия для методов сжатия, на основе контекстного моделирования и арифметического кодирования. Предложенный метод позволяет определить степень сжатия изображения по набору его статистических параметров для методов сжатия, использующих алгоритмы контекстного моделирования PPM и арифметического кодирования. Полученные результаты показывают расхождение теоретических оценок и практических результатов на 1–2 %, что свидетельствует о целесообразности применения предложенного аналитического выражения для оценки методов сжатия на основе контекстного моделирования и арифметического кодирования.

Ключевые слова: сжатие изображений, степень сжатия, контекстное моделирование, кодирование.

Введение

Развитие современных телекоммуникационных систем привело к существенному росту информационных потоков между территориально разделенными источниками и получателями информации. Повышение скорости передачи информации, а также уменьшение объемов запоминающих устройств может быть достигнуто за счет использования современных технических средств сбора, передачи, хранения и обработки информации.

Для повышения возможностей современных телекоммуникационных и информационно-вычислительных систем целесообразно использование средств сокращения избыточности информации, которая циркулирует в данных системах.

Эти средства основаны на методах сжатия информации. Использование методов сжатия информации в телекоммуникационных системах позволяет существенно уменьшить нагрузку на каналы связи и системы обработки и хранения данных, за счет исключения избыточности в информации.

Одними из наиболее объемных видов данных являются статические изображения. Для представления изображений необходимо большего объема памяти, чем например, для представления текстовых данных.

Современные разработки в области сжатия изображений, как правило, являются закрытыми к широкому использованию.

Поэтому разработка методов сжатия изображений, основанных на современных подходах теории кодирования информации, является актуальной задачей.

На этапе проектирования и разработки алгоритмов сжатия изображений разработчики сталки-

ваются с рядом проблем по оценке создаваемых алгоритмов. Оценка алгоритмов сжатия проводится по определенному набору параметров.

Выбор параметров для сравнения зависит от конкретного назначения данного алгоритма и от класса сжимаемых изображений. Некоторые алгоритмы направлены на высокую эффективность сжатия, другие обеспечивают высокую скорость компрессии или декомпрессии.

Ключевым показателем эффективности алгоритма сжатия является степень сжатия. Именно максимально высокая степень сжатия является главным функциональным предназначением существующих методов сжатия. Эффективность сжатия принято описывать параметром коэффициент сжатия, который определяют как отношение объема исходных к объему сжатых данных [4]:

$$K_{\text{сж}} = \frac{V_{\text{исх}}}{V_{\text{сж}}}, \text{ раз}$$

где $V_{\text{исх}}$ – объем исходных данных;

$V_{\text{сж}}$ – объем сжатых данных.

Произвести оценку эффективности сжатия для разрабатываемого алгоритма сжатия возможно либо практически, либо аналитически.

Экспериментальная оценка может быть произведена после создания программной или аппаратной реализации разрабатываемого алгоритма сжатия. Это требует материальных и временных затрат, так как тестирование алгоритма производится только после его создания. В случае неудовлетворительных результатов тестирования процесс создания алгоритма после его модернизации выполняется заново.

Частично избежать данных затрат можно путём аналитической оценки эффективности алгоритма

сжатия ещё на этапе проектирования, без создания программной либо аппаратной реализации. Это позволит упростить процесс создания алгоритмов сжатия, за счёт усовершенствования этапа тестирования.

Для оценки алгоритмов, при разработке, целесообразно создавать модель алгоритма и по тестовому набору входных изображений оценивать эффективность данных методов. В качестве тестовых изображений могут выступать общепринятые тестовые пакеты изображений (Kodak image, Waterloo color set и др.) [2]. Для специализированных областей применения алгоритмов сжатия формируют специальные наборы тестовых изображений, учитывающие особенности данной области применения [3].

Целью статьи является разработка метода предварительной оценки степени сжатия для методов сжатия изображений, на основе современных методов кодирования данных.

Результаты исследования

Предварительная оценка эффективности сжатия производилась для созданного метода сжатия, общая схема которого представлена на рис. 1, где: YUV – смена цветовой модели изображения;

WT – вейвлет-преобразование;

PPM – контекстное моделирование;

AC – арифметический кодер.

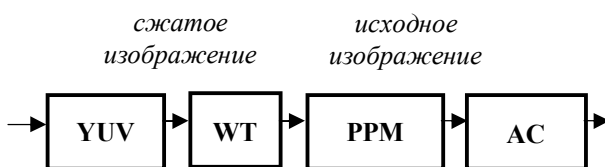


Рис. 1. Схема рассматриваемого метода сжатия изображений

Объём данных, на выходе блока целочисленно-вейвлет-преобразования, остаётся неизменным.

Происходит перераспределение значений, для их более компактного представления. Поэтому для оценки эффективности сжатия проведём анализ статистики трансформант вейвлет-преобразования, которые будут подвергнуты статистическому кодированию.

Работа алгоритма контекстного моделирования PPM основана на оценке вероятности появления очередного символа s , на основе предшествующих его символов [1, 6, 7]. Набор, предшествующих символов, учитываемых при оценке очередного

символа, называется контекстом c , а их количество – порядком контекста d .

При невозможности кодировать текущий символ в контексте максимального порядка происходит переход на контекст меньшего порядка и производится попытка оценки символа в данном контексте.

Для указания алгоритму декодирования о переходе на контекст меньшего порядка производится кодирование специального символа – символа ухода esc , вероятность которого определяется как $p(esc|c)$.

Данный символ вводится как дополнительный служебный символ в алфавит сжимаемых данных и кодируется каждый раз, когда происходит переход с контекста большего порядка на контекст меньшего порядка.

Для данного символа создаётся счётчик появления в каждом контексте и оценка вероятности появления символа имеет вид.

Алгоритм арифметического QM-кодера обеспечивает кодирование символов входного потока на основе полученных в алгоритме моделирования вероятностей и представляет вероятности в виде выходной последовательности бит.

В качестве входных данных для оценки эффективности кодирования символов входного потока сформируем $D+1$ -мерную матрицу вероятностей трансформант вейвлет-преобразования, где D – максимальный порядок учитываемого контекста.

Поток трансформант сгруппирован от низкочастотных до высокочастотных составляющих. Контекст первого порядка выбран как максимальный. Дальнейшее повышение порядка контекста вызывает резкое повышение частоты появления символа ухода, что ухудшает эффективность сжатия (для средне- и высоконасыщенных изображений) [7, 10].

Матрица вероятностей формируется путём анализа всего потока и включает в себя безусловные частоты символов входного алфавита, условные вероятности, учитывающие контекст 1-го порядка и частоту ухода для каждого контекста.

Оценку теоретически допустимой степени сжатия для рассматриваемого метода целесообразно проводить путём нахождения значения условной энтропии для входного потока данных, с учётом особенностей реализации алгоритмов кодирования и моделирования [1, 10].

Значение условной энтропии позволит определить теоретическое значение минимально необходимого количества бит, затрачиваемое на кодирование одного символа, оценённого в контекстной модели 1-го порядка.

Для контекста 1-го порядка кроме символов кодируемого потока необходимо учитывать затраты на кодирование символов ухода.

Затраты на кодирование символов ухода на контекстную модель 0-го порядка определяются:

$$H_{\text{esc}} = - \sum_{j=0}^{255} p(\text{esc}, c_j) \log_2 p(\text{esc} | c_j) \quad \text{бит/символ.}$$

Учитывая затраты бит на кодирование символов ухода и символов, кодируемых в контекстной модели 1-го порядка, без учёта контекстной модели 0-го порядка, имеем общее значение затрат на кодирование:

$$H_1 = - \sum_{j=0}^{255} \left(\sum_{i=0}^{255} p(s_i, c_j) \log_2 p(s_i | c_j) + p(\text{esc}, c_j) \log_2 p(\text{esc}, c_j) \right) \quad \text{бит/символ.}$$

Затраты на кодирование символов, оценённых в контекстной модели 0-го порядка можно определить путём нахождения энтропии матрицы распределения данных символов:

$$H_0 = - \sum_{i=0}^{255} p(s_i) \log_2 p(s_i) \quad \text{бит/символ.}$$

Для суммирования всех затрат на кодирование необходимо определить весовые коэффициенты всех контекстов, характеризующие частоту оценки символа в контекстной модели данного порядка. Весовые коэффициенты определяются при помощи выражения:

$$k_d = \frac{\sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_{d+1j}) - \sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_{dj})}{T(S)},$$

где, $t(\text{esc} | c_{d+1j})$ – частота появления символа ухода в контексте c_{d+1j} ;

d – порядок рассматриваемого контекста;

$T(S)$ – общее количество кодируемых символов входного потока.

При максимальном порядке контекста D :

$$\sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_{D+1j}) = T(S).$$

Учитывая весовые коэффициенты контекстов средние затраты на кодирование одного символа составляют:

$$H_s = - \sum_{j=0}^{255} \left(\sum_{i=0}^{255} p(s_i, c_j) \log_2 p(s_i | c_j) + p(\text{esc}, c_j) \log_2 p(\text{esc}, c_j) \right) \times \frac{T(S) - \sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_j)}{T(S)} - \left(\sum_{i=0}^{255} p(s_i) \log_2 p(s_i) \right) \times \frac{\sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_j)}{T(S)} \quad \text{бит/символ,}$$

Разрядность алфавита входных символов равна 8 бит на символ.

Разделив значение разрядности для символа входного потока на количество бит, необходимого для представления кодированного символа, получим предварительное значение коэффициента сжатия для рассмотренного метода сжатия:

$$K_{\text{сж}} = 8 / \left(- \sum_{j=0}^{255} \left(\sum_{i=0}^{255} p(s_i, c_j) \log_2 p(s_i | c_j) + p(\text{esc}, c_j) \log_2 p(\text{esc}, c_j) \right) \times \frac{T(S) - \sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_j)}{T(S)} - \left(\sum_{i=0}^{255} p(s_i) \log_2 p(s_i) \right) \times \frac{\sum_{j=0}^{255} t(\text{esc} | c_j)}{T(S)} \right).$$

Для подтверждения полученных результатов и нахождения погрешности предварительного значения степени сжатия, проведём оценку степени сжатия, полученных аналитически и практически, с использованием рассматриваемого метода сжатия.

Полученные результаты занесены и представлены в табл. 1.

В качестве тестового пакета изображений выбран созданный пакет, состоящий из 300 изображений, разделенных на 7 классов в соответствии со статистическими, структурными и цветовыми свойствами.

Анализ полученных результатов показывает, что погрешность, при определении предварительного значения степени сжатия, по отношению к реальному значению, не превышает 1–2 %.

Полученное невысокое значение погрешности позволяет сделать вывод о правильности выбранной

модели алгоритма и точности разработанного метода предварительной оценки степени сжатия.

Таблица 1

Сравнение предварительного и практического значения степени сжатия

Класс изображений	Предварительная степень сжатия	Практическая степень сжатия
1	23,56	23,91
2	9,21	9,32
3	3,28	3,34
4	9,42	9,48
5	2,98	3,03
6	3,39	3,46
7	2,28	2,32
Среднее значение	7,73	7,84

Меньшее значение предварительной степени сжатия, чем практической, можно объяснить тем, что учитывалась полностью набранная статистика в рассматриваемых контекстных моделях.

В процессе непосредственного кодирования символов входного потока статистика набирается постепенно, от полностью пустой контекстной модели, в начале кодирования, до модели с полностью накопленными статистическими параметрами, в конце кодирования.

В аналитическом методе происходит учёт статистики появления символа ухода максимального значения, что уменьшает значения теоретического коэффициента сжатия, за счёт необходимости кодирования данного символа.

Выводы

В работе предложен метод предварительного анализа степени сжатия изображений для методов сжатия, на основе контекстного моделирования PPM и арифметического кодирования.

Данный метод позволит на этапе разработки методов сжатия изображений без необходимости практической реализации алгоритмов моделирования и кодирования, оценить степень сжатия изображений аналитически.

Предложенный метод позволяет определить степень сжатия изображения по набору его статистических параметров для методов сжатия, использующих алгоритмы контекстного моделирования PPM и арифметического кодирования.

Полученные результаты показывают расхождение теоретических оценок и практических результатов на 1–2 %, что свидетельствует о целесообразности применения предложенного аналитического выражения для оценки методов сжатия на основе контекстного моделирования и арифметического кодирования.

Литература

1. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
2. Миано Д. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Д. Миано. – М.: Триумф, 2003. – 112 с.
3. Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений [Электрон. ресурс] / Д.С. Ватолин // Лаборатория компьютерной графики МГУ. – Режим доступа к ресурсу: <http://graphics.cs.msu.su/library/ourpublications/fractal/index.htm>.
4. Яне Б. Мир цифровой обработки изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
5. Стрюк А.Ю. Метод сжатия видеоданных с использованием вейвлет-преобразования / А.Ю. Стрюк, А.А. Резуненко // Мат. 3-ей Междунар. научно-техн. конф. «Проблемы информатики и моделирования». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – С. 24.
6. Howard P.G. Error modeling for hierarchical lossless image compression / P.G. Howard, J.S. Witter // Proc. IEEE Data Compression Conference, Snowbird, Utah, 1992. – P. 269-278.
7. Шкарин Д. Повышение эффективности алгоритма PPM / Д. Шкарин // Проблемы передачи информации. – 2001. – № 34(3). – С. 2-54.
8. Memon N., Wu X. Recent Developments in Context-Based Predictive Techniques for Lossless Image Compression [Electronic resource] / N. Memon, X. Wu // The Computer Journal – 1997. – Vol. 40. – N. 2/3. – Режим доступа к ресурсу: www.compression.ru/download/articles/i_1less/memon_xu_1997cj_context_pdf.rar.
9. В.И. Шульгин Основы теории передачи информации / В.И. Шульгин // Ч. I. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – С. 102.
10. Дядик Д.Ф. Выбор порядка контекста при разработке метода сжатия изображений / Д.Ф. Дядик, О.Ю. Стрюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №1 (8). – С. 197-204.
11. Maarten J. Second generation wavelets and applications / J. Maarten, O. Patrick // Springer-Verlag London Limited, 2005. – 138 p.

Поступила в редакцию 7.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедри А.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет, Полтава.

МЕТОД ПОПЕРЕДНЬОЇ ОЦІНКИ СТУПЕНЯ СТИСКУ ЗОБРАЖЕНЬ

Д.Ф. Дядик, О.Ю. Стрюк

Запропоновано метод аналітичної оцінки ступеня стиску для методів стиску, на основі контекстного моделювання і арифметичного кодування. Запропонований метод дозволяє визначити ступінь стиску зображення по набору його статистичних параметрів для методів стиску, що використовують алгоритми контекстного моделювання PPM і арифметичного кодування. Одержані результати показують розбіжність теоретичних оцінок і практичних результатів на 1–2 %, що свідчить про доцільність застосування запропонованого аналітичного виразу для оцінки методів стиску на основі контекстного моделювання і арифметичного кодування.

Ключові слова: стиск зображення, ступень стиску, контекстне моделювання, кодування.

METHOD OF THE PRELIMINARY ASSESSMENT OF IMAGE COMPRESSION DEGREE

D.F. Dyadik. A.Y. Stryuk

The method of analytical estimation of degree compression the methods of compression is offered, on the basis of context design and arithmetic encoding. The offered method allows to define the degree of compression of image on the set of his statistical parameters for the methods of compression, using the algorithms of the context design PPM and arithmetic encoding. The got results show divergence of theoretical estimations and practical results on 1–2 %, that testifies about expedience of application of the offered analytical expression for estimation of methods of compression on the basis of context design and arithmetic encoding.

Key words: image compression, compression degree, context design, encoding.

Дядик Дмитрий Федорович – ад'юнкт научно-організаційного відділу Воєнного інституту телекомунікацій і інформатизації Національного політехнічного університету «КПІ», e-mail: denim82@mail.ru.

Стрюк Алексей Юрьевич – к.т.н., доцент, докторант научно-організаційного відділу Воєнного інституту телекомунікацій і інформатизації Національного політехнічного університету «КПІ».