

Интегрированный программный комплекс для сжатия большеформатных изображений на базе методов статистического кодирования с контекстным моделированием

Васин Юрий Григорьевич, Борусяк Александр Владимирович
Центр информатики и интеллектуальных информационных технологий ИИТММ
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
Национального исследовательского университета, Нижний Новгород, Россия
ya.vasinyuri@yandex.ru, sw-bor@yandex.ru

Аннотация

В работе предложен интегрированный программный комплекс для сжатия бинарных, индексированных и полноцветных растровых изображений. Представлены структура программного комплекса и описание формата выходного файла. Приведены результаты экспериментальных апробаций, подтверждающие эффективность предлагаемого решения.

Ключевые слова: Сжатие, Контекстное моделирование, Программный комплекс, Бинарные изображения, Индексированные изображения, Полноцветные изображения.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент существует множество различных методов, алгоритмов и программ, используемых для сжатия изображений различных типов. При этом для разных видов изображений пользователю приходится использовать различные программы для сжатия, которые зачастую значительно отличаются интерфейсом. На изучение и сопровождение каждой программы требуются определенные материальные ресурсы. Поэтому, актуальна задача создания единого программного комплекса, который включал бы в себя все необходимые средства для эффективного сжатия изображений различных типов, обладая при этом единым интерфейсом для всех выполняемых задач.

2. АЛГОРИТМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ

Реализованный программный комплекс основан на единой методологической основе (контекстное моделирование со статистическим кодированием) и предназначен для сжатия растровых изображений следующих типов: бинарные, индексированные и полноцветные. Подробно данные алгоритмы описаны в работах [1-7,9-11]. Ниже приведено краткое описание предлагаемых алгоритмов.

Бинарное изображение (двухуровневое, двоичное) — разновидность цифровых растровых изображений, когда каждый пиксель может представлять только один из двух цветов. Для сжатия монохромных бинарных изображений (МБИ) разработан алгоритм РСТВ, отличающийся использованием двумерного двоичного контекста определенной графической формы с учетом взаимосвязей между соседними пикселями, вместо стандартного одномерного контекста. Использование свойства двумерности данных при сжатии изображений позволило добиться значительного выигрыша в коэффициенте сжатия. Помимо двумерности используемого контекста разработанный алгоритм отличается способом ухода на

контексты меньших порядков, набором методов улучшения степени сжатия, техникой масштабирования счетчика последнего встреченного символа, методом наследования информации, способом вычисления нового КМП и контекстов меньших порядков с возможностью распараллеливания вычислений[1,3-7,9,10].

Цветное индексированное изображение — такое изображение, цвет каждого элемента которого задается в специальной таблице — палитре. Для возможности сжатия ИРИ алгоритм РСТВ был адаптирован для работы с 8-битными пикселями. Размер контекста максимального порядка (КМП) был установлен равным 8. Было сделано предположение, что пиксели, наиболее близкие к текущему пикселю, имеют наибольшую с ним взаимосвязь. На основе этого предположения и в результате экспериментальных апробаций, была выявлена форма двумерного контекста, обеспечивающая наиболее высокую эффективность сжатия. Преобразованный алгоритм для сжатия индексированных изображений был назван ИРС [3,11,12].

Полноцветное изображение характеризуется представлением конечного синтезированного цвета на основе его компонентов в заданной цветовой модели (RGB, CMYK или др.). Полноцветное изображение представляет цвет любого элемента непосредственно через значения каждого компонента в заданной цветовой модели. При обработке полноцветных изображений было учтено предположение, что существует взаимосвязь между значениями цветовых компонент разных каналов. Сжатие каждого пикселя производится поканально. Для каждого цветового канала формируется свой контекст и используются отдельные контекстные модели следующих порядков: 6,4,2,1,0. В качестве контекста для значения красной цветовой компоненты (R) используются только значения R из ранее обработанных пикселей. Для контекста зеленого цветового канала кроме значения зеленой цветовой компоненты (G) ранее обработанных пикселей также используются значения R из ранее обработанных и текущего пикселей. Для значений канала синего цвета помимо значений синей цветовой

компоненты (В) ранее обработанных пикселей также используются значения R и G ранее обработанных и текущего пикселей. С целью увеличения Ксж в качестве R, G и В для текущего пиксела используется разница между соответствующими значениями для текущего и предыдущего пикселей.

3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотренные методы были реализованы в виде библиотеки классов на языке C++. Разработанный программный комплекс состоит из 5 основных компонент:

1. RCTVCoder – модуль, осуществляющая кодирование/декодирование бинарных изображений
2. IPCCoder – модуль, осуществляющая кодирование/декодирование индексированных изображений
3. FPCCoder – модуль, осуществляющая кодирование/декодирование полноцветных изображений
4. IMCCoder – модуль, объединяющий функциональность первых трех модулей
5. QtTest – специальная вспомогательная утилита, предназначенная для выполнения различных преобразований и анализа изображений

Разработанный программный комплекс реализует следующие основные функции:

- Кодирование/декодирование полноцветных изображений без потерь
- Кодирование/декодирование бинарных изображений без потерь
- Кодирование/декодирование индексированных изображений без потерь
- Выбор количества потоков для кодирования.
- Подсчет и вывод времени затраченного на кодирование.
- Подсчет и вывод Ксж.
- Ведения лог-файла проделанных операций
- Визуализация прогресса кодирования/декодирования

Программная структура состоит из следующих основных программных классов и изображена на Рисунке 1:

RPCManager – Интерфейс управления кодированием/декодированием. Промежуточный управляющий элемент между пользовательским интерфейсом и классами кодера/декодера RPCCoder, IPCCoder, FPCCoder. Управляет потоком файлов, работает с заголовками файлов, производит разбиение изображение на несколько частей для кодирования/декодирования, управляет многопоточностью с помощью контроля множества экземпляров классов RPCCoder, IPCCoder, FPCCoder.

RPCCoder – кодер/декодер. Реализация разработанного алгоритма контекстного моделирования RCTV для сжатия/расжатия части изображения.

IPCCoder – кодер/декодер. Реализация разработанного алгоритма контекстного моделирования IPC для сжатия/расжатия части изображения.

FPCCoder – кодер/декодер. Реализация разработанного алгоритма контекстного моделирования FPC для сжатия/расжатия части изображения.

Arithmetic – реализация арифметического кодера/декодера

ContextModel – Контекстная модель

MultiByteKey – Ключ контекстной модели произвольной длины.

AVLTree – реализация AVL – дерева

Btree - реализация B – дерева

SplayTree - реализация Splay – дерева

InOutClass – класс, упрощающий работу с файловой системой, реализует файловый ввод/вывод побайтно и побитово

CodeImagesGroup – интерфейсный класс, предназначенный для запуска и настройки процедуры кодирования группы изображений с сохранением статистики при переходе от одного файла к другому.

CodeImagesWithoutGroup – интерфейсный класс, предназначенный для запуска и настройки процедуры кодирования группы изображений без сохранения статистики при переходе между файлами.

DecodeImages – интерфейсный класс, предназначенный для запуска процедуры декодирования группы изображений.

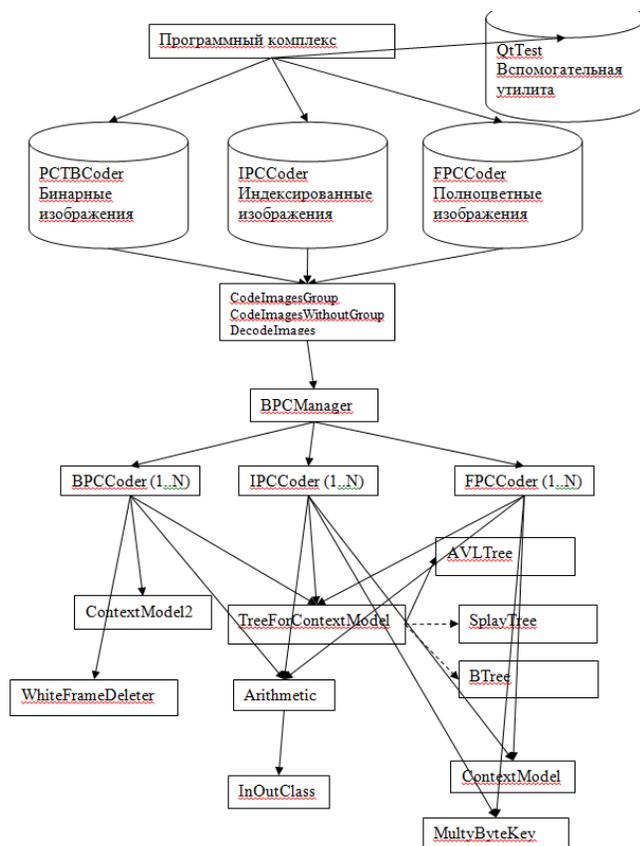


Рис 1: Блок-схема структуры программного комплекса

4. ОПИСАНИЕ ФОРМАТА ВЫХОДНОГО ФАЙЛА

Приводится описание формата выходного файла. Для подробного описания файла необходимо ввести структуру SizeBM, хранящую в себе два значения height и width – высоту и ширину прямоугольной области соответственно. Данная структура занимает в памяти 8 байт.

Закодированный файл состоит из двух основных частей – заголовка файла и основной части файла. Заголовок файла содержит описание общих для всех файлов архива параметров, а также размеров и имен изображений и состоит из следующих полей:

Количество изображений в файле(kol) – целое, 4 байта

Массив из kol элементов пар значений Height, Width – высоты и ширины для каждого изображения - 8 байт*kol

Имена всех изображений в архиве, разделенные знаком '*', где '*' означает окончание имени очередного файла. Имена файлов могут иметь произвольный размер от 1 до 256 байт.

Количество потоков SubImageCount, используемых при сжатии. Также данный параметр означает, количество частей, на которое разделяется изображение. 1 байт.

Массив PositionsOfImages из kol-1 элементов типа int по 4 байта, каждый элемент которого обозначает смещение в файле, по которому начинается сжатое изображение. Для

первого изображение по умолчанию используется смещение равное 0, относительно конца заголовка файла.

Массив из kol*(SubImage-1) элементов типа int по 4 байта, каждый элемент которого обозначает смещение в файле, по которому начинается сжатый блок изображения. Для первой части изображения по умолчанию используется смещение равное 0, относительно начала изображения.

Следующая часть заголовочного файла есть только при сжатии бинарных изображений в файлах архивов PCTB алгоритма. После основной части заголовка архива идет два массива LeftTopMas и RightBottomMas, содержащих в себе по kol элементов типа SizeBM. Данные массивы используются для хранения координат прямоугольной области изображения, в которой есть пиксели отличные от белого цвета. Такие координаты получается в результате вычисления белых рамок изображений.

Основная часть файла состоит из набора в kol подряд идущих описаний сжатых изображений, где kol – количество сжатых изображений в архивном файле. Каждое описание сжатого изображения состоит из трех основных

элементов, которые описаны ниже.

ColorTableSize – количество цветов в изображении, размером 4 байта. Данный параметр отсутствует при сжатии полноцветных изображений алгоритмом FPC.

Массив ColorTable из kol элементов типа QRgb по 4 байта каждый, который хранит цветовую палитру изображения. Данная часть отсутствует при сжатии полноцветных изображений алгоритмом FPC.

SubImageCount блоков из произвольного количества байт, каждый из которых хранит одну закодированную часть изображения. Данные блоки содержат последовательность закодированных с помощью арифметического кодера вероятностей статистической контекстной модели.

5. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Используется двумерный контекст определенной формы и размера.

В качестве статистического кодировщика используется арифметический кодер, так как для данной задачи он обеспечивает наименьшую длину генерируемых кодов.

В алгоритме PCTB используются контекстные модели 31, 11, 7, 4 и нулевого порядка. КМП при переходе от одного пикселя к другому вычисляется с помощью битовых сдвигов. Так как вычислять заново контексты меньших порядков не эффективно, то они вычисляются с помощью битовых масок из контекста максимального порядка.

В алгоритме IPC используются контекстные модели 8, 5, 2, 1 и нулевого порядка. В алгоритме FPC используются контекстные модели 6, 4, 2, 1 и нулевого порядка. В качестве контекста в алгоритмах IPC и FPC используется специальный класс MultyByteKey, позволяющий вычислять КмП из КМП за одну операцию.

Для эффективного хранения в памяти контекстных моделей используется AVL-дерево. Контекстная модель для конкретного контекста создается и помещается в дерево

только после того, когда данный контекст первый раз встретится при обработке изображения.

Используется битовая арифметика для увеличения быстродействия.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ АПРОБАЦИЙ

Были проведены эксперименты по сравнению с другими алгоритмами на наборе из больших файлов. Данные по экспериментам приведены в Таблице 1. Строчки соответствуют сжимаемым изображениям. Сведения о сжимаемых изображениях приведены в Таблице 1. Сравнение эффективности алгоритмов при сжатии больших файлов. Столбцы соответствуют алгоритмам. В первом столбце обеих таблиц отображен порядковый номер сжимаемого файла. Файлы 1 и 2 являются большеформатными изображениями ортофотосъемки с глубиной цвета 8 и 24 соответственно. Файлы 3 и 4 являются большеформатными бинарными изображениями планшетно-географической съемки. По данному эксперименту видна эффективность разработанного программного комплекса, которая не хуже или лучше, по сравнению с наиболее широко распространенными алгоритмами. Пустые ячейки означают, что данный алгоритм не предназначен для сжатия изображений такого типа.

№	IMC Coder	PNG	TIFF	Win RAR	7z LZMA	JPEG -LS	PPM
1	1,91	1,74		1,60	1,83	1,88	1,81
2	2,42	1,82	1,48	1,83	1,57	2,29	1,35
3	71,99	16,7	12,15	21,68	20,9		17,3
4	58,88	13,85	11,37	18,56	17,72		16,36

Таблица 1. Сравнение эффективности алгоритмов при сжатии больших файлов

№	Размер (Мбайт)	Ширина (пикс.)	Высота (пикс.)	Глубина цвета
1-OFP.bmp	386	20449	18919	8
2-OFP_C.bmp	1 005	17930	18694	24
3-PGS2.bmp	101	32294	25003	1
4-PGS3.bmp	80	26715	23985	1

Таблица 2. Сведения о сжимаемых изображениях

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный и созданный программный комплекс реализует методы и алгоритмы, базирующиеся на едином методологическом подходе, позволяет сжимать широкий спектр различных растровых изображений и требует незначительных затрат на его освоение и сопровождение.

Апробация созданного программного комплекса подтвердила его эффективность, которая находится на уровне не хуже или лучше для индексированных и полноцветных изображений, и существенно превосходит для большеформатных бинарных изображений, по сравнению со специализированными и универсальными конкурентными решениями.

8. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена при поддержке гранта РНФ проект №16-11-00068.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Borusyak A.V., Vasin Yu.G., Zherzdev S.V. Compression of binary images using the context modeling 2013 © Pleiades Publishing, Ltd. Pattern Recognition and Image Analysis
- [2] Borusyak A.V., Vasin Yu.G. Compression algorithm for indexed images with the use of context-based modeling. // Proceedings of the 9th Open German-Russian Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding. 2015. <http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2015/1136/>
- [3] Borusyak A.V., Vasin Yu.G. Optimizing the computational complexity of the algorithm for adaptive compression of binary raster images// Тезисы 2013 Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences. Proceedings of the 11-th International Conference "Pattern recognition and image analysis: new information technologies" (PRIA-11-2013)
- [4] Borusyak A.V., Vasin Yu.G., Zherzdev S.V. "Compression of Binary Graphics Using Context Simulation" // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol.23, № 2, 2013, pp207-2101.
- [5] Borusyak A.V., Vasin Yu.G., Zherzdev S.V. "Optimizing the computational complexity of the algorithm for adaptive compression of binary raster images" The 11-th International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: new information technologies" Samara, September 23-28, 2014, pp.170-172
- [6] Borusyak A.V., Zherzdev S.V. "Compression of binary images using the context modeling" // PATTERN RECOGNITION and IMAGE UNDERSTANDING OGRW-8-2011, 2011г., с25-27
- [7] Borusyak Aleksandr V. The enhancement of the operating speed of the algorithm of adaptive compression of binary bitmap image//Proceedings of International Conference Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2015) ,Samara, Russia, June 29 - July 1, 2015. pp. 262-267. <http://ceur-ws.org/Vol-1490/>
- [8] Vasin Yu.G. and Zherzdev S.V. Information Techniques for Hierarchical Image Coding // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 13, №. 3, 2003, pp. 539–548.
- [9] Борусьяк А.В. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №20764 на разработку "Сжатие бинарных графических изображений на базе статистического кодирования с использованием контекстного моделирования".
- [10] Борусьяк А.В. Сжатие бинарных изображений с использованием контекстного моделирования// Тезисы 2012 Издательство Нижегородского государственного университета

Proceedings of the 8-th Open German-Russian workshop on pattern recognition and image understanding

[11] Борусяк А.В., Васин Ю.Г. Сжатие индексированных графических изображений с использованием контекстного моделирования // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2014, № 4-1, С. 486-492.

[12] Борусяк А.В., Васин Ю.Г. Сжатие индексированных графических изображений с использованием контекстного моделирования // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2014, № 4-1, С. 486-492.

[13] Набор тестовых изображений с сайта http://www.imagecompression.info/test_images

Об авторах

Васин Юрий Григорьевич – д.т.н., Проф. Института информационных технологий, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского, руководитель Центра информатики и интеллектуальных информационных технологий ИИТММ Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского Национального исследовательского университета. ya.vasinyuri@yandex.ru.

Борусяк Александр Владимирович – младший научный сотрудник Центра информатики и интеллектуальных информационных технологий ИИТММ Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского Национального исследовательского университета. sw-bor@yandex.ru.