

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕЗ ПОТЕРЬ С ПРЕДСКАЗАНИЕМ

Предложен симметричный алгоритм сжатия фотореалистичных изображений без потерь на базе модели кодирования с предсказанием, включающей динамическое построение k -точечных аппроксимирующих функций. Для рассматриваемого алгоритма приведено сравнение эффективности сжатия с наиболее известными на сегодняшний день алгоритмами кодирования изображений без потерь.

Ключевые слова: модель кодирования с предсказанием, экстраполяция, коэффициент сжатия, среднеквадратичное отклонение, арифметическое кодирование.

Lossless photorealistic image symmetric compression algorithm is proposed. It is based on the predictive encoding model, including dynamic construction of k -point approximating functions. For the algorithm compares the compression efficiency using today's most popular lossless image encoding algorithms.

Key words: predictive encoding model, extrapolation, compression ratio, mean square error, arithmetic coding.

1. Введение

В общем случае кодирование с предсказанием [1, 2] заключается в выполнении следующих двух шагов:

1) **моделирование** — представление изображения в виде матрицы отклонений точных значений от предсказанных;

2) **кодирование** — построение для матрицы отклонений некоторого неравномерного кода (например, код Хаффмана).

Пусть $f(x,y)$ — таблично-заданная функция яркости для серого изображения и $g(x,y)$ — некоторое приближение $f(x,y)$. Тогда кодируемым значением в случае кодирования с предсказанием является

$$e(x,y) = f(x,y) - g(x,y),$$

где $e(x,y)$ — ошибка предсказания. Для восстановления исходного значения используем соотношение

$$f(x,y) = e(x,y) + g(x,y).$$

Кодирование и декодирование выполняется при обходе матрицы сверху вниз и слева направо. Для вычисления текущего значения используются значения в предыдущих точках.

Имеем следующие конфигурации выбора узлов для экстраполяции:

–	p_7	p_5	p_8	–
p_6	p_2	p_1	p_3	p_9
p_4	p_0	$g(x,y)$	–	–

Аппроксимация в случае n смежных точек определяется как

$$g(x, y) = \alpha_0 p_0 + \dots + \alpha_{n-1} p_{n-1}.$$

где $\{p_i\}_{i=0}^n$ — известные значения, а $\{\alpha_i\}_{i=0}^n$ — система весов, удовлетворяющая условию

$$\alpha_0 + \dots + \alpha_{n-1} = 1.$$

Степень сжатия напрямую зависит от точности аппроксимации.

В статье представлено описание разработанного адаптивного LPC алгоритма кодирования изображений без потерь, а также проведено сравнение его эффективности с некоторыми алгоритмами сжатия растровой графики.

2. Качество экстраполяции некоторых методов

Множество прогнозирующих функций можно разделить на два класса:

- 1) статические (вид функции не меняется во время кодирования);
- 2) динамические (функция адаптируется к исходным данным).

Предсказатель может являться как линейной, так и нелинейной функцией. Одними из наиболее известных нелинейных статических предсказателей являются функции Paeth [6] и MED [5], определяющиеся следующим образом:

$$Paeth = \begin{cases} W, & \text{if } |N - NW| \leq |W - NW| \wedge |N - NW| \leq |N + W - 2NW| \\ N, & \text{if } |W - NW| \leq |N + W - 2NW| \\ NW, & \text{otherwise} \end{cases}.$$

$$MED = \begin{cases} \min(N, W), & \text{if } NW \geq \max(N, NW) \\ \max(N, W), & \text{if } NW \leq \min(N, W) \\ N + W - NW, & \text{otherwise} \end{cases}.$$

Здесь параметры N , W , NW принимаются равными $p_{i-1,j}$, $p_{i,j-1}$, $p_{i-1,j-1}$ соответственно. В качестве линейного статического предсказателя может выступить любая линейная фиксированная функция, например:

$$Mean3(x, y) = \frac{N+W+NW}{3}.$$

Адаптивный предсказатель — функция, модифицирующаяся на каждой итерации моделирования, представление которой определяется по некоторому набору точек, соседних к прогнозируемой.

В полуадаптивном случае моделирование осуществляется в два этапа:

- 1) вычисление предсказателя по всем точкам изображения;
- 2) кодирование последовательности входных символов с использованием найденной на шаге 1 предсказывающей функции.

Полуадаптивные методы кодирования (в таблицах) будем обозначать как Npa , где N — количество точек в конфигурации.

В качестве меры для оценки качества предсказателя используем среднеквадратичное отклонение

$$MSE(f, g) = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n (f_{ij} - g_{ij})^2}.$$

В дальнейшем для сравнения оценки качества предсказателей и эффективности сжатия будем использовать набор из нескольких наиболее известных фотореалистичных изображений [3].

Усредненные среднеквадратичные отклонения принимают значения, показанные в табл. 1.

Таблица 1

Среднеквадратичные отклонения некоторых методов

Mean3	2pa	Paeth	MED	3pa	4pa	6pa	10pa
12,447	10,211	9,517	8,938	8,774	8,614	8,537	8,403

3. Динамическое построение адаптивных предсказателей

Задача построения предсказывающей функции сводится к определению системы ее весов $\{\alpha_i\}$. Для вычисления их значения необходимо определить, какие узлы p_i будут использоваться для последующего прогнозирования.

Рассмотрим задачу вычисления коэффициентов прогнозирующей функции в случае конфигурации, состоящей из четырех узлов:

$I_{x-2, y-2}$	$I_{x-1, y-2}$	$I_{x, y-2}$	$I_{x+1, y-2}$	$I_{x+2, y-2}$
$I_{x-2, y-1}$	$I_{x-1, y-1}$	$I_{x, y-1}$	$I_{x+1, y-1}$	$I_{x+2, y-1}$
$I_{x-2, y}$	$I_{x-1, y}$	$g_{x, y}$	—	—

В простейшем случае веса $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ определяются как решения СЛАУ вида

$$\begin{cases} I_{x-2, y} \alpha_0 + I_{x-2, y-1} \alpha_1 + I_{x-1, y-1} \alpha_2 + I_{x, y-1} \alpha_3 = I_{x-1, y}, \\ I_{x-2, y-1} \alpha_0 + I_{x-1, y-1} \alpha_1 + I_{x-1, y-2} \alpha_2 + I_{x, y-2} \alpha_3 = I_{x-1, y-1}, \\ I_{x-1, y-1} \alpha_0 + I_{x-1, y-2} \alpha_1 + I_{x, y-2} \alpha_2 + I_{x+1, y-2} \alpha_3 = I_{x, y-1}, \\ I_{x, y-1} \alpha_0 + I_{x, y-2} \alpha_1 + I_{x+1, y-2} \alpha_2 + I_{x+2, y-2} \alpha_3 = I_{x+1, y-1}. \end{cases}$$

Кроме того, должно быть выполнено соотношение

$$\alpha_3 = 1 - \sum_{i=0}^2 \alpha_i.$$

Практика показывает, что данный метод неустойчив. Для его устойчивости необходимо использовать большее число узлов при построении СЛАУ.

4. Качество аппроксимации

Пусть ε — размер локального окна, а n — количество узлов в конфигурации. Тогда усредненные среднеквадратичные отклонения при различных параметрах ε и n будут выглядеть как показано в таблице 2.

Размер локального окна играет значимую роль в построении предсказателя. При $\varepsilon=1$ — метод неустойчив. Если размер локального окна слишком велик, то в область попадают точки, несущие меньшую информацию для прогнозируемой, что негативно сказывается на качестве экстраполяции.

Сопоставив оценки из табл. 1 и табл. 2 заметим, что предсказатель, построенный по предложенному алгоритму, дает существенно лучшее приближение, чем статические и полуадаптивные предсказатели.

Таблица 2

**Среднеквадратичные отклонения адаптивного метода
при различных параметрах ε и n**

ε	n=2	n=3	n=4	n=6	n=10
1	9,648	12,446	17,941	42,526	65,463
2	8,659	8,625	8,563	9,971	16,706
3	8,569	8,200	7,857	8,150	9,363
4	8,587	8,079	7,667	7,692	8,160
5	8,631	8,042	7,606	7,522	7,724
6	8,679	8,035	7,593	7,450	7,525
7	8,724	8,040	7,598	7,420	7,426
8	8,765	8,050	7,612	7,413	7,374
9	8,807	8,065	7,630	7,417	7,347
10	8,845	8,081	7,650	7,428	7,338

5. Результаты

Полученный алгоритм кодирования с предсказанием, динамически находит предсказатель для каждой вычисляемой точки. Построение неравномерного кода последовательности осуществляется посредством арифметического кодирования [2, 8].

Для оценки эффективности алгоритма используем коэффициент сжатия, определяемый соотношением

$$Q = \frac{\text{size}(enc)}{\text{size}(src)},$$

где $\text{size}(enc)$ — количество байт в закодированной последовательности, а $\text{size}(src)$ — размер исходного изображения.

Описанный выше метод использовался с параметрами $n/\varepsilon=4/5$ и $10/9$. Полученные результаты приведены в табл. 3

Таблица 3

Усредненные коэффициенты сжатия для различных методов

Png	3pa	10pa	Jpeg2000	4/5	10/9	Jpeg-LS
0,587	0,584	0,582	0,557	0,551	0,548	0,538

Предложенный метод по степени компрессии занимает позицию между Jpeg2000 [4] и Jpeg-LS [7]. Эксперименты показали, что результат в среднем остается практически неизменным.

Рассмотренный подход кодирования изображений может послужить алгоритмической основой для дальнейших исследований. При том что некоторые вопросы пока остались незатронутыми (динамический выбор конфигурации, адаптация по размеру локального окна), данный метод показал достаточно неплохой результат.

Библиографический список

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юдин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М. : Диалог — МИФИ, 2002. 384 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2012. Гл. 8. С. 611—713.
3. Набор тестовых изображений. URL: http://math.ivanovo.ac.ru/dalgebra/Khashin/bmp_ex/index.html (дата обращения: 02.02.2015).
4. Jpeg2000, официальная страница. URL: <http://www.jpeg.org/jpeg2000/index.html> (дата обращения: 20.01.2015).
5. Метон N., Wu X. Recent developments in context-based predictive techniques for lossless image compression // The Computer Journal. 1997. Vol. 40, № 2/3. P. 127—136.
6. PNG (Portable Network Graphics) Specification, Version 1.0, W3C Recommendation 01-October-1996. URL: <http://www.w3.org/TR/REC-png-961001> (дата обращения: 17.12.2014).
7. Weinberger M. J., Seroussi G., Sapiro G. The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS // IEEE transactions on image processing. 2000. Vol. 9, № 8. P. 1309—1327.
8. Witten I. H., Neal R. M., Cleary J. G. Arithmetic coding for data compression // Communications of the ACM. 1987. P. 520—540.

УДК 372.851

*Е. В. Ерёмкина***ВИДЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В РЕАЛИЗАЦИИ КУРСА «ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА»**

Рассматриваются некоторые виды образовательных технологий, применение которых на занятиях по математике, в частности в курсе «Линейной алгебры», позволит развивать профессиональные и другие виды компетенций студентов. Приводятся примеры использования видов образовательных технологий.

Ключевые слова: образовательные технологии, компетенции, модульные технологии, опорный конспект, уровневая дифференциация, тестовые технологии.

In this article we consider some of the types of educational technologies, the use of which at the lessons of mathematics, in particular in the course of «Linear Algebra», will help to develop professional and other kinds of students' competences. We give examples of use of certain types of educational technologies.

Key words: educational technologies, competences, modular technologies, supporting abstract, tier differentiation, test technologies.

Актуализированный федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС 3+) — это совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ высшего

© Ерёмкина Е. В., 2015