

Интерполяция на базе NEDI при компрессии изображений на основе ИСИ

М.В. Гашников¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Разрабатывается алгоритм интерполяции цифровых изображений, предназначенный для использования на сетках опорных отсчётов специального вида, используемых в методе компрессии изображений на основе иерархической сеточной интерполяции (ИСИ). В основе разрабатываемого интерполятора лежит алгоритм NEDI (New Edge-Directed Interpolation). В данной работе алгоритм NEDI адаптирован для использования в рамках иерархических методов компрессии. Проведено экспериментальное исследование разработанного интерполятора и показано, что его применение позволяет повысить эффективность компрессии.

1. Введение

Продолжающееся увеличение доступности цифровых устройств обработки информации по-прежнему влечет за собой рост объёма обрабатываемых цифровых изображений, причём указанная проблема не может быть решена за счёт увеличения ёмкости запоминающих устройств. Более того, доступнее также становятся многокомпонентные изображения, в том числе мульти- и гиперспектральные [1-3] данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также результаты съёмки квадрокоптерами и другими беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), что ещё больше усугубляет проблему чрезмерно большого объёма данных цифровых изображений, единственным приемлемым решением которой на данный момент является использование методов компрессии цифровых изображений [4-5].

К настоящему моменту известно довольно много [4-8] методов компрессии цифровых изображений, наиболее популярным из которых является основанный на использовании дискретных косинусных преобразований (ДКП) [9] и последующем энтропийном кодировании [10] трансформант (результатов ДКП) метод компрессии JPEG [11]. Гораздо менее широко используемым является более эффективный [12] метод компрессии JPEG-2000 [13], который использует дискретное Wavelet-преобразование [14].

Указанные методы группы JPEG используются очень широко, в том числе благодаря большому разнообразию аппаратных устройств, в которые они встроены. Однако существует ряд задач, предъявляющих повышенные требования к качеству сжатых цифровых данных, среди которых следует отметить, прежде всего, полиграфию и обработку ДЗЗ. В этих областях приходится иметь дело с цифровыми изображениями, которые не только являются уникальными, но могут также иметь высокую разрядность и иметь существенно больше трёх цветовых компонент (сотни компонент для случая гиперспектральных изображений). Другими

словами, при компрессии таких изображений сложности могут возникнуть уже на этапе работы со специфическими форматами данных.

Самым большим коэффициентом компрессии в настоящее время обладают, по мнению автора, фрактальные [15] методы компрессии. Однако их распространению мешают специфические, в большинстве случаев недопустимые, искажения, а также чрезмерно высокая вычислительная сложность.

Также важно отметить важный недостаток, в той или иной степени характерный для всех перечисленных методов компрессии изображений, который проистекает из необходимости перехода в соответствующее пространство коэффициентов преобразования. Этот недостаток заключается в том, что далеко не всегда существует возможность управления погрешностью, вносимой в указанное пространство коэффициентов. Если для среднеквадратической погрешности такое управление в ряде случаев возможно за счёт использования равенства Парсеваля, то для, например, более строгого показателя максимальной погрешности указанное управление погрешности для перечисленных методов, как правило, невозможно.

По мнению автора, в специфических областях, предъявляющих повышенные требования к качеству цифровых изображений, перспективным является использование методов компрессии, не требующих перехода в спектральные (или какие-либо иные) вспомогательные пространства. В данной работе в качестве такого метода выбран метод на основе иерархической сеточной [16-17] интерполяции (ИСИ), основанный на безызыточном многократном прореживании исходного двумерного массива пикселей изображения и интерполяции пикселей изображения на основе указанных прореженных массивов. Методы на основе ИСИ обладают рядом важных достоинств, таких как независимый от масштаба доступ к фрагментам сжатых данных, возможность управления скоростью формирования потока сжатых данных, возможность повышения помехоустойчивости и возможность управления погрешностью (в том числе максимальной [18] погрешностью). Задача исследования и дальнейшего повышения эффективности иерархических методов компрессии цифровых изображений, безусловно, является актуальной.

Важным этапом таких методов компрессии является интерполятор, в котором пиксели более прореженного изображения используются для интерполяции пикселей менее прореженного изображения. Наиболее простым и распространённым способом такой интерполяции является простое усреднение [19-20] по ближайшим пикселям более прореженных масштабных уровней. Однако такой способ недостаточно эффективен, поскольку не является адаптивным (работает одинаковым образом, независимо от локальных особенностей изображения).

Одним из способов учёта локальных особенностей цифрового сигнала является использование контекстного моделирования [21-23], которое получило распространение, в частности, в методах статистического кодирования [7]. В самом простом случае, контекстом для очередного кодируемого символа является предыдущий символ (или несколько предыдущих), а моделью контекста является оценка условного распределения вероятностей кодируемого символа. Учет контекста, то есть использование условного распределения вместо безусловного, позволяет повысить адаптивность к изменяющимся статистическим свойствам исходных данных, что приводит, в конечном итоге, к повышению эффективности метода сжатия в целом.

В данной работе контекстное моделирование используется при разработке новых алгоритмов интерполяции, входящих в состав метода ИСИ, предназначенных для повышения эффективности этого метода компрессии. Для метода ИСИ предлагается алгоритм интерполяции на основе алгоритма NEDI [24], основанного на контекстном моделировании. При разработке алгоритмов интерполяции, в качестве контекста для каждого пикселя рассматривается набор окружающих его пикселей.

2. Метод компрессии изображений на основе ИСИ

Введём в рассмотрение иерархическое [16, 25-26] представление целочисленного неотрицательного изображения $\mathbf{X} = \{x(m, n)\}$ в виде множества иерархических уровней \mathbf{X}_i :

$$\mathbf{X} = \bigcup_{l=0}^{L-1} \mathbf{X}_l, \quad \mathbf{X}_{L-1} = \{x_{L-1}(m, n)\}, \quad \mathbf{X}_l = \{x_l(m, n)\} \setminus \{x_{l+1}(m, n)\}, \quad l < L-1,$$

где L – количество иерархических уровней, а $\{x_l(m, n)\}$ – прореженное с шагом 2^l изображение.

При компрессии на основе иерархической сеточной интерполяции (ИСИ) иерархические уровни сжимаются последовательно, от старшего (наиболее прореженного) уровня \mathbf{X}_{L-1} к младшим уровням. Доля объёма данных старшего уровня достаточно мала уже при $L > 3$, поэтому способ сжатия этого уровня был неважен. Поэтому далее описывается только алгоритм компрессии «нестаршего» масштабного уровня $\mathbf{X}_l, l < L-1$.

Этап №1) Интерполяция.

Интерполяция отсчётов $\{x_l(m, n)\}$ рассматриваемого уровня \mathbf{X}_l происходит на основе отсчётов $\{\bar{x}_k(m, n), k > l\}$ уже обработанных (компрессированных и затем декомпрессированных) уровней $\{\bar{\mathbf{X}}_k, k > l\}$:

$$\hat{x}_l(m, n) = P \left(\bigcup_{k=l+1}^{L-1} \{\bar{x}_k(m, n)\} \right), \quad (1)$$

где $\hat{x}_l(m, n)$ – интерполирующие значения отсчётов, а $P(\dots)$ – функция, задающая в общем виде некоторый интерполятор. Далее интерполяторы рассмотрены подробно.

Этап №2) Построение разностного сигнала.

Вычисляются разности между исходными и интерполирующими (1) значениями отсчётов:

$$f_l(m, n) = x_l(m, n) - \hat{x}_l(m, n). \quad (2)$$

Этап №3) Квантование.

Осуществляется переквантование разностного сигнала (2). В данной работе используется переквантователь с равномерной шкалой ($[..]$ – целая часть вещественного числа):

$$q_l(m, n) = \text{sign}(f_l(m, n)) \left\lceil \frac{|f_l(m, n)| + \varepsilon_{\max}}{2\varepsilon_{\max} + 1} \right\rceil, \quad (3)$$

позволяющий контролировать максимальную погрешность ε_{\max} :

$$f_l(m, n) = |x_l(m, n) - \bar{x}_l(m, n)| \leq \varepsilon_{\max}. \quad (4)$$

Квантованный сигнал (3) затем сжимается энтропийным кодером и помещаются в архив.

Этап №4) Восстановление.

Вычисляются (уже на этапе сжатия) восстановленные значения отсчётов:

$$\bar{x}_l(m, n) = q_l(m, n)(1 + 2\varepsilon_{\max}) + \hat{x}_l(m, n), \quad (5)$$

которые нужны для интерполяции (1) следующих иерархических уровней $\{\mathbf{X}_k, k < l\}$.

3. Усредняющая интерполяция при компрессии на основе ИСИ

Из соображений вычислительной сложности для интерполяции при использовании метода ИСИ обычно [19-20] используется тривиальное усреднение по ближайшим уже восстановленным отсчётам более прореженных иерархических уровней. При этом рассматриваются два типа интерполируемых отсчетов: «тип I» с индексами вида $(2m+1, 2n+1)$ и «тип II» с индексами вида $x_l(2m+1, 2n)$ и $x_l(2m, 2n+1)$. Укажем один из наиболее простых способов обработки отсчётов обоих типов при использовании усредняющего интерполятора:

Алгоритм интерполяции (I). Интерполяция производится на основе восстановленных значений отсчётов более прореженного масштабного уровня.

$$\hat{x}_l(2m+1, 2n) = \frac{1}{2} (\bar{x}_{l+1}(m, n) + \bar{x}_{l+1}(m+1, n)), \quad (6)$$

$$\hat{x}_i(2m+1, 2n+1) = \frac{1}{4}(\bar{x}_{l+1}(m, n) + \bar{x}_{l+1}(m+1, n) + \bar{x}_{l+1}(m, n+1) + \bar{x}_{l+1}(m+1, n+1)) \quad (7)$$

Рассмотренный усредняющий алгоритм интерполяции имеет низкую вычислительную сложность, но недостаточно высокую эффективность, так как не учитывает локальных особенностей изображения.

4. Контекстное моделирование при сжатии данных

Применение методов контекстного моделирования [21-23] для сжатия данных опирается на парадигму универсального моделирования и кодирования, предложенную Риссаненом и Лэнгдоном [21]. В соответствии с данной парадигмой процесс сжатия состоит из двух этапов: моделирования и собственно кодирования.

Под моделированием здесь понимается построение модели информационного источника (источника сообщений), породившего компрессируемые данные, а под кодированием понимается процесс сокращения объема данных на основании результатов моделирования. «Кодер» создает выходной поток, являющийся компактной формой представления обрабатываемой последовательности, на основании информации, поставляемой ему «моделировщиком».

Из теоремы Шеннона [7] о кодировании источника сообщений известно, что символ s_i , вероятность появления которого $p(s_i)$, выгоднее всего представлять $-\log_2 p(s_i)$ битами. Часто структура источника неизвестна либо сложна, поэтому необходимо строить модель источника, которая позволила бы в каждой позиции входной последовательности найти оценку $\bar{p}(s_i)$ вероятности появления каждого символа s_i .

Оценка вероятностей символов при моделировании производится на основании известной (или оцениваемой) статистики и, возможно, априорных предположений, поэтому говорят о статистическом моделировании. Другими словами, «моделировщик» предсказывает вероятность появления каждого символа. На этапе статистического кодирования выполняется замещение символа s_i с оценкой вероятности появления $\bar{p}(s_i)$ кодом длиной $-\log_2 \bar{p}(s_i)$ бит. Чем точнее оценка вероятностей появления символов, тем «ближе» коды к оптимальным, и тем более эффективно сжатие.

5. Алгоритм NEDI при интерполяции изображений

В исходной постановке контекстное моделирование используется для статистического кодирования, но можно говорить о контекстном моделировании и при интерполяции изображений. В терминах контекстного моделирования может быть рассмотрен алгоритм интерполяции New Edge-Directed Interpolation (NEDI) [24].

Опишем кратко алгоритм NEDI. Пусть $\mathbf{X} = \{x(m, n)\}$ по-прежнему исходное изображение размерами $W \times H$. Пусть нужно вычислить изображение $Z = \{x(m, n)\}$ размерами $2W \times 2H$ вдвое лучшего разрешения. По алгоритму NEDI такое изображение строится следующим образом. Отсчеты с четными индексами просто приравниваются отсчетам исходного изображения:

$$z(2m, 2n) = x(m, n), \quad (8)$$

а отсчеты (см. рис. 1) с индексами $(2m+1, 2n+1)$ вычисляются согласно выражению:

$$z(2m+1, 2n+1) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \alpha_{2i+j} x(m+i, n+j), \quad (9)$$

где $\alpha_i, i = 0..3$ - некоторые коэффициенты интерполяции.

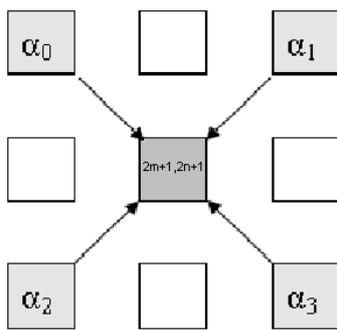


Рисунок 1. Расположение опорных отсчетов алгоритма NEDI.

Нетрудно видеть, что недостающие отсчеты вычисляются как взвешенная сумма четырех ближайших опорных отсчетов, при этом необходимо вычислить наилучшие весовые коэффициенты $\alpha_i, i=0..3$. Эти коэффициенты вычисляются исходя из минимизации квадратичной погрешности:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i,j \in D} (x(i,j) - z(i,j))^2 \rightarrow \min_{\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}, \tag{10}$$

где D – квадратная область оценивания коэффициентов интерполяции, включающая N отсчетов.

Пусть отсчеты $x(i,j)$ из области оценивания D составляют массив $\vec{Y} = [y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]^T$. Элементам массива \vec{Y} присваиваются значения отсчетов из области оценивания, начиная с левого верхнего угла области и далее согласно построчной развертке (см. рис. 2).

Также рассмотрим матрицу

$$C = \begin{bmatrix} c_{0,0} & \dots & c_{0,3} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{N-1,0} & \dots & c_{N-1,3} \end{bmatrix}, \tag{11}$$

каждая строка которой состоит из опорных отсчетов, которые используются для интерполяции отсчетов области оценивания (см. рис. 2):

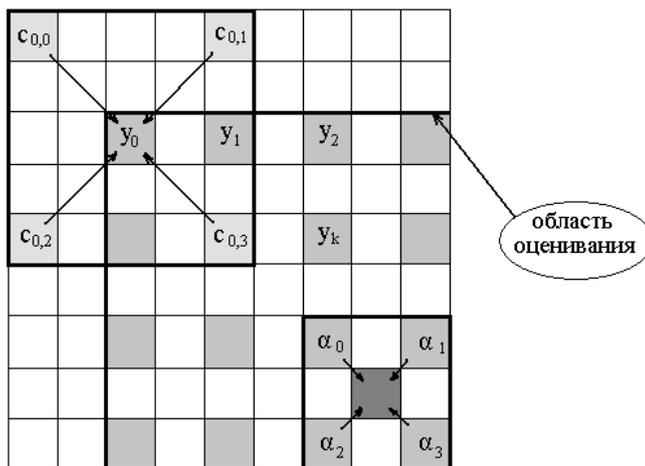


Рисунок 2. Область оценивания коэффициентов интерполяции алгоритма NEDI.

В соответствии с введенными обозначениями, критерий (10) представляется в виде:

$$\varepsilon^2 = \sum_{k \in D} (y_k - C_k \vec{\alpha})^2 \rightarrow \min_{\vec{\alpha}}, \tag{12}$$

где C_k - k -ая строка матрицы C , $\vec{\alpha} = [\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3]^T$ - вектор коэффициентов интерполяции.

Для решения оптимизационной задачи (12) приравняем нулю частные производные по искомым параметрам:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \alpha_0} = (y_0 - (\alpha_0 c_{0,0} + \alpha_1 c_{0,1} + \alpha_2 c_{0,2} + \alpha_3 c_{0,3})) \cdot c_{0,0} + \dots + (y_{N-1} - (\alpha_0 c_{N-1,0} + \alpha_1 c_{N-1,1} + \alpha_2 c_{N-1,2} + \alpha_3 c_{N-1,3})) \cdot c_{N-1,0} = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \alpha_1} = (y_0 - (\alpha_0 c_{0,0} + \alpha_1 c_{0,1} + \alpha_2 c_{0,2} + \alpha_3 c_{0,3})) \cdot c_{0,1} + \dots + (y_{N-1} - (\alpha_0 c_{N-1,0} + \alpha_1 c_{N-1,1} + \alpha_2 c_{N-1,2} + \alpha_3 c_{N-1,3})) \cdot c_{N-1,1} = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \alpha_2} = (y_0 - (\alpha_0 c_{0,0} + \alpha_1 c_{0,1} + \alpha_2 c_{0,2} + \alpha_3 c_{0,3})) \cdot c_{0,2} + \dots + (y_{N-1} - (\alpha_0 c_{N-1,0} + \alpha_1 c_{N-1,1} + \alpha_2 c_{N-1,2} + \alpha_3 c_{N-1,3})) \cdot c_{N-1,2} = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \alpha_3} = (y_0 - (\alpha_0 c_{0,0} + \alpha_1 c_{0,1} + \alpha_2 c_{0,2} + \alpha_3 c_{0,3})) \cdot c_{0,3} + \dots + (y_{N-1} - (\alpha_0 c_{N-1,0} + \alpha_1 c_{N-1,1} + \alpha_2 c_{N-1,2} + \alpha_3 c_{N-1,3})) \cdot c_{N-1,3} = 0 \end{cases}$$

Запишем решение этой системы уравнений в матричном виде:

$$\vec{\alpha} = (C^T C)^{-1} \cdot (C^T \vec{Y}), \quad (13)$$

которое позволяет вычислить коэффициенты интерполяции $\alpha_i, i = 0..3$. Достоинством алгоритма является адаптивность к локальным особенностям изображения, недостатком – вычислительная сложность. Под контекстом в данном случае понимается набор окружающих опорных отсчетов, составляющих область оценивания параметров, а под контекстным моделированием – оценка коэффициентов интерполяции.

6. Алгоритм интерполяции NEDI для метода компрессии на основе ИСИ

В данной работе проведена адаптация алгоритма NEDI для безызбыточных иерархических сеток отсчетов метода ИСИ. При этом на каждом «нестаршем» l -ом иерархическом уровне ($0 \leq l \leq L-2$) для интерполяции каждого отсчета уровня выбирается квадратная область оценивания D четного размера, состоящая из уже восстановленных отсчетов предыдущих уровней, которые образуют массив \vec{Y}_l , для которого подбирается «своя» матрица C_l (см. предыдущий раздел).

На рис. 3 для двух уровней светлым цветом показаны отсчёты массива \vec{Y}_l а темным – элементы матрицы C_l , принадлежащие первому уровню (интерполируемый отсчет принадлежит нулевому уровню).

Оценка коэффициентов интерполяции производится аналогично выражению (13) с учётом описанной специфики опорных областей:

$$\vec{\alpha}_l = (C_l^T C_l)^{-1} \cdot (C_l^T \vec{Y}_l). \quad (14)$$

Сначала приведенный выше алгоритм применяется для интерполяции отсчетов с индексами вида $(2i+1, 2j+1)$, затем вычисляются коэффициенты интерполяции для остальных пикселей (аналогичным образом, просто вся ситуация поворачивается на 45 градусов).

Достоинством описанного алгоритма является адаптивность за счёт учёта контекста (локальных особенностей изображения в малой окрестности), что должно приводить к более точной интерполяции отсчета. Недостатком является высокая вычислительная сложность вычисления коэффициентов интерполяции.

Важно отметить, что не всегда удаётся вычислить обратную матрицу к матрице $C_l^T C_l$, так как эта матрица может оказаться плохо обусловленной. Признаком плохой обусловленности является ситуация, когда число обусловленности матрицы $C_l^T C_l$ превышает некоторый «порог обусловленности T » (ещё один параметр алгоритма). В этой ситуации вместо интерполяции по алгоритму NEDI используется усредняющая схема интерполяции (6-7). Порог обусловленности T влияет на эффективность компрессии, т.к. влияет на способ интерполяции (эта зависимость исследуется далее). Однако, практика показывает, что доля пикселей на изображении, для которых возникает ситуация плохой обусловленности, достаточно мала.

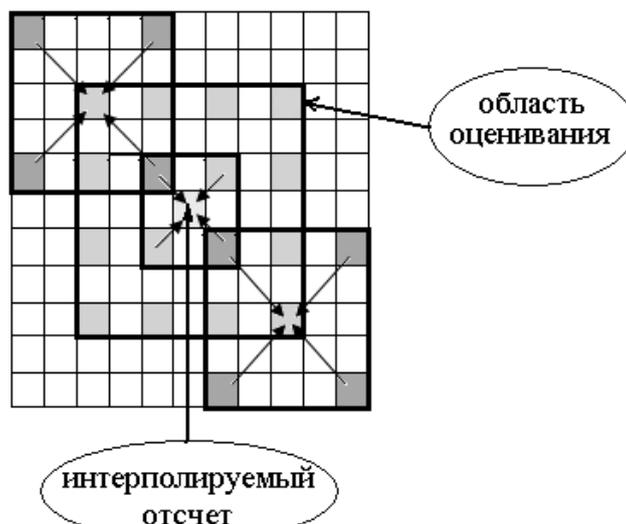


Рисунок 3. Область оценивания коэффициентов при интерполяции алгоритмом NEDI для метода ИСИ.

7. Экспериментальное исследование алгоритмов интерполяции

В данной работе предложенный интерполятор на базе алгоритма NEDI был реализован программно и встроен в метод компрессии ИСИ. Для исследования эффективности предложенного алгоритма интерполяции были проведены вычислительные эксперименты по оценке влияния этого алгоритма на эффективность (коэффициент сжатия) метода ИСИ на реальных тестовых изображениях, примеры которых показаны на рис. 4.

В качестве меры эффективности использовался относительный выигрыш в размере архива, которой достигается благодаря замене усредняющего (6-7) интерполятора на предложенный интерполятор (см. раздел «Алгоритм интерполяции NEDI для метода компрессии на основе ИСИ») в рамках метода ИСИ:

$$\Delta = \frac{S^{\text{standart}} - S^{\text{new}}}{S^{\text{standart}}} \cdot 100\% ,$$

где S^{standart} , S^{new} – объёмы архива при сжатии методом ИСИ с использованием усредняющего и предложенного интерполяторов соответственно.

При проведении каждого из вычислительных экспериментов подбирались наилучшие (по коэффициенту сжатия) пороговые значения T числа обусловленности матрицы $C^T C$ для заданных числа иерархических уровней L и размера области оценивания N . Некоторые результаты для приведённых тестовых изображений показаны на рис. 5.



Рисунок 4. Примеры тестовых изображений.

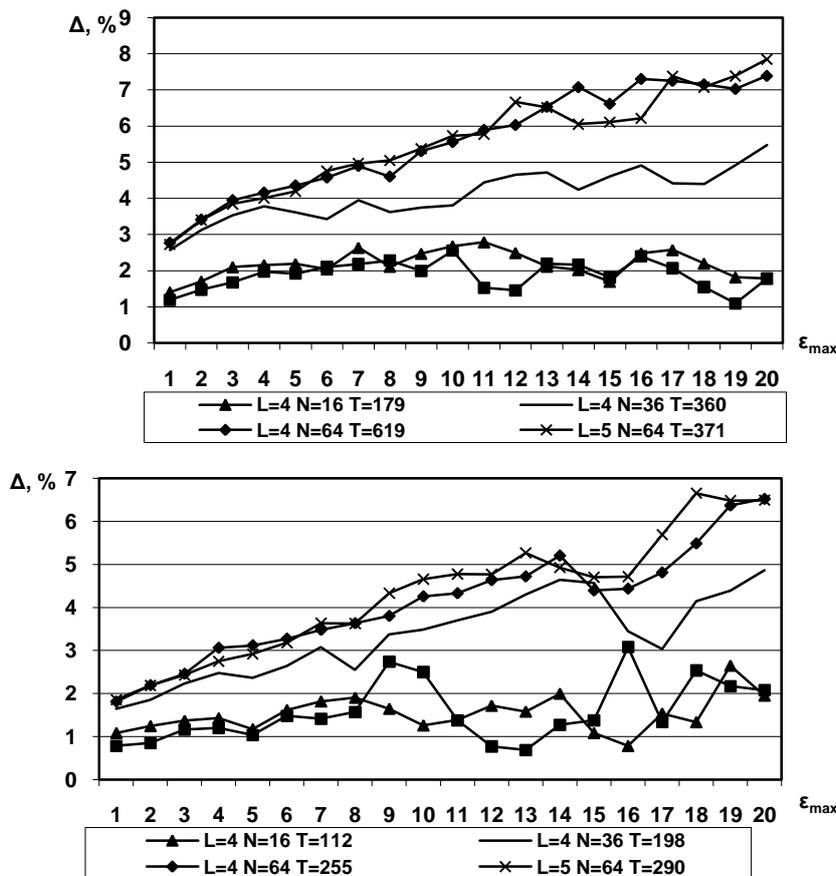


Рисунок 5. Выигрыш предложенного интерполятора у усредняющего интерполятора для различных максимальных погрешностей на изображениях, показанных на рис. 4а и 4б.

Из полученных результатов видно, что предложенный алгоритм обеспечивает заметный (до 8%) выигрыш по объёму архива, который увеличивается при увеличении погрешности компрессии и размера области оценивания параметров.

8. Заключение

Рассмотрены вопросы применения контекстного моделирования при интерполяции для метода компрессии изображений на основе ИСИ. Предложен использующий парадигму контекстного моделирования алгоритм интерполяции изображений на основе NEDI. Предложенный алгоритм интерполяции реализован программно и встроен в метод компрессии изображений на основе ИСИ. Проведены вычислительные эксперименты по оценке эффективности предложенного алгоритма на реальных изображениях. Экспериментально выяснен характер зависимости коэффициента компрессии метода ИСИ со встроенным предложенным интерполятором от размера области оценивания параметров. Показано, что применение предложенного алгоритма интерполяции вместо усредняющего алгоритма интерполяции позволяет заметно (до 8%) повысить эффективность метода компрессии ИСИ.

9. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-01-00667, 18-07-01312.

10. Литература

- [1] Chang, C. Hyperspectral data exploitation: theory and applications / C. Chang. – Wiley-Interscience, 2007. – 440 p.
- [2] Borengasser, M. Hyperspectral Remote Sensing – Principles and Applications / M. Borengasser, W. Hungate, R. Watkins. – CRC Press, 2004. – 128 p.
- [3] Chang, C. Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis / C. Chang. – Wiley Press, 2013. – 1164 p.
- [4] 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.
- [5] Sayood, K. Introduction to Data Compression. / K. Sayood // The Morgan Kaufmann Series in Multimedia Information and Systems, 4ed. – 2012. – 743 p.
- [6] Woods, E Digital Image Processing / E. Woods, R. Gonzalez // Prentice Hall, 3ed, 2007. – 976 p.
- [7] Salomon, D. Data Compression. The Complete Reference / D. Salomon. – Springer-Verlag, 4ed, 2007. – 1118 p.
- [8] Pratt, W. Digital image processing / W. Pratt. – Wiley, 4ed, 2007. – 807 p.
- [9] Plonka, G. Fast and numerically stable algorithms for discrete cosine transforms / G. Plonka, M. Tasche // Linear Algebra and its Applications. – 2005. – Vol. 394(1). – P. 309-345.
- [10] Лидовский, В.В. Теория информации - учебное пособие. / В.В. Лидовский. – М.: Спутник+, 2004. – 111 с.
- [11] Wallace, G. The JPEG Still Picture Compression Standard / G. Wallace // Communications of the ACM. – 1991. – Vol. 34(4). – P. 30-44.
- [12] Ebrahimi, F. JPEG vs. JPEG2000: An Objective Comparison of Image Encoding Quality / F. Ebrahimi, M. Chamik, S. Winkler // Proceedings of SPIE Applications of Digital Image Processing XXVII. – 2004. – Vol. 5558. – P. 300-308.
- [13] Li, J. Image Compression: The Mathematics of JPEG-2000 / J. Li // Modern Signal Processing. – MSRI Publications. – 2003. – V. 46. – P. 185-221.
- [14] Gupta, V. Enhanced Image Compression Using Wavelets. / V. Gupta, V. Sharma, A. Kumar // International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES). – 2014. – Vol. 2(5). – P. 55-62.
- [15] Woon, W.M. Achieving high data compression of self-similar satellite images using fractal / W.M. Woon, A.T.S. Ho, T. Yu, S.C. Tam, S.C. Tan, L.T. Yap. // Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – 2000. – P. 609-611
- [16] Gashnikov, M.V. Compression Method for Real-Time Systems of Remote Sensing / M.V. Gashnikov, N.I. Glumov, V.V. Sergeev // Proceedings of 15th International Conference on Pattern Recognition. – Barselona 2000. – Vol. 3. – P. 232-235.
- [17] Гашников, М.В. Минимизация энтропии постинтерполяционных остатков при компрессии изображений на основе иерархической сеточной интерполяции / М.В. Гашников // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 2. – С. 266-275.
- [18] Lin, S. Error Control Coding: Fundamentals and Applications, second edition / S. Lin, D. Costello. – New Jersey: Prentice-Hall, inc. Englewood Cliffs, 2004. – 1260 p.
- [19] Ефимов, В.М. Оценка эффективности иерархических и построчных алгоритмов сжатия полутоновых изображений без потерь / В.М. Ефимов, А.Н. Колесников // Тезисы докладов III конференции “Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии”. – Нижний Новгород, 1997. – Часть I. – С. 157-161.
- [20] Gashnikov, M. Interpolation for hyperspectral images compression / M.V. Gashnikov // CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1638. – P. 327-333.
- [21] Rissanen, J.J. Universal modeling and coding / J.J. Rissanen, G.G. Langdon // IEEE Transactions on Information Theory. – 1981. – Vol. 27(1). – P. 12-23.
- [22] Cleary, J.G. Data compression using adaptive coding and partial string matching / J.G. Cleary, I.H. Witten // IEEE Transactions on Communications. – 1984. – Vol. 3(4). – P. 396-402.
- [23] California Institute of Technology [Electronic resource]: Solving the problems of context modeling / C. Bloom. – Mode of access: <http://www.cbloom.com/papers/ppmz.zip> (date of access: 28.09.2015).

- [24] Li, X. New Edge-Directed Interpolation / X.Li, M.T. Orchard // IEEE Trans. on Image Processing. – 2001. – Vol. 10(10). – P.1521-1527.
- [25] Gashnikov, M.V. Development and Investigation of a Hierarchical Compression Algorithm for Storing Hyperspectral Images / M.V. Gashnikov, N.I. Glumov // Optical Memory and Neural Networks. – Allerton Press. – 2016. – Vol. 25(3). – P. 168-179.
- [26] Gashnikov, M.V. Hyperspectral images repository using a hierarchical compression / M.V. Gashnikov, N.I. Glumov // Posters Proceedings of 23-rd International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG). – 2015. – P. 1-4.

Interpolation based on NEDI for image compression based on HGI

M.V. Gashnikov¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. An algorithm for the digital images interpolation is developed, intended for use on pixel grids of a special kind used in the image compression method based on hierarchical grid interpolation (HGI). The developed interpolator is based on the NEDI (New Edge-Directed Interpolation) algorithm. In this paper, the NEDI algorithm is adapted for use in hierarchical compression methods. An experimental study of the developed interpolator is carried out and it is shown that its application allows to increase compression efficiency.

Keywords: Interpolation, compression, image, compression ratio, NEDI.