

©Ваганов С. Е., Хашин С.И., 2016

DOI: 10.18255/1818-1015-2016-4-389-400

УДК 519.67

Сравнение алгоритмов удвоения размера изображения

Ваганов С. Е., Хашин С.И.

получена 18 апреля 2016

Аннотация. В данной работе произведен сравнительный анализ качества некоторых интерполяционных неадаптивных методов увеличения размера изображения в два раза. В качестве оценки точности (качества) аппроксимации использовалась величина среднеквадратичного отклонения. Артефакты (алиасинг, эффект Гиббса, размытие и др.), вносимые интерполяционными методами, не рассматривались. Приведено описание интерполяционных алгоритмов удвоения, таких как: метод ближайшего соседа, линейная и кубическая интерполяции, интерполяция сверткой с ядром Ланцоша (при $a=1, 2, 3$), а также метод 17-точечной интерполяции. Для каждого метода удвоения были найдены оптимальные коэффициенты ядер свертки для различных алгоритмов уменьшения размера вдвое. Рассмотрены различные методы уменьшения размера вдвое: усреднение по 4-м ближайшим точкам и взвешенное 16-ти ближайших точек с оптимальными коэффициентами. Оптимальные коэффициенты найдены для каждого рассматриваемого в работе метода удвоения, они подбирались таким образом, чтобы минимизировать величину среднеквадратичного отклонения точного значения от приближения.

В работе предлагается простой метод дополнительной корректировки произвольного алгоритма удвоения размера. Этот метод показывает хорошие результаты на простых интерполяционных алгоритмах. Однако при использовании наиболее сложных алгоритмов (17-точечный, Ланцош $a = 3$) улучшения оказываются незначительными. По результатам численных экспериментов самым точным среди рассмотренных алгоритмов является метод 17-точечной интерполяции, немного хуже – интерполяция посредством свертки с ядром Ланцоша с параметром $a = 3$ (см. таблицу в конце работы).

Ключевые слова: интерполяция, свертка функций, фильтр Ланцоша, 17-точечная интерполяция

Для цитирования: Ваганов С. Е., Хашин С.И., "Сравнение алгоритмов удвоения размера изображения", *Моделирование и анализ информационных систем*, **23:4** (2016), 389–400.

Об авторах:

Ваганов Сергей Евгеньевич, orcid.org/0000-0002-8642-8555, аспирант, Ивановский государственный университет, ул. Ермака, 39, г. Иваново, 153025 Россия, e-mail: pro100-pioner@mail.ru

Хашин Сергей Иванович, orcid.org/0000-0002-6508-663X, канд. физ.-мат. наук, доцент, Ивановский государственный университет, ул. Ермака, 39, г. Иваново, 153025 Россия, e-mail: khash2@mail.ru

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 162 госзадания на НИР №2014/40

Введение

Масштабирование изображений является одной из классических задач компьютерной графики [2, 5, 10]. Частным случаем данной задачи является уменьшение и увеличение размера изображения в два раза. Особую роль данные методы играют при сжатии растровых изображений [1, 7, 8, 10], где от качества аппроксимации зависит общая эффективность кодирования.

В работе произведен сравнительный анализ погрешности некоторых интерполяционных методов увеличения размера изображения вдвое. В качестве оценки точности алгоритма использовалось среднеквадратичное отклонение. Бралась во внимание только неадаптивные методы, вносимые артефакты (алиасинг, размытие и др.) не рассматривались. Предложен простой способ «коррекции» (п. 1.5.), дающий улучшение аппроксимации на простых алгоритмах.

Пусть $a[x, y]$ – матрица яркости серого изображения либо одна из цветовых компонент полноцветного, $m_x \times m_y$ – её размеры. Для удобства будем полагать, что значения $a[x, y]$ определены для всех пар целых чисел (x, y) по формуле

$$a[x, y] = a[x', y'],$$

где

$$x' = \begin{cases} 0 & \text{если } 0 < x, \\ x & \text{если } 0 \leq x < m_x, \\ m_x - 1 & \text{если } x \geq m_x, \end{cases}$$

$$y' = \begin{cases} 0 & \text{если } 0 < y, \\ y & \text{если } 0 \leq y < m_y, \\ m_y - 1 & \text{если } y \geq m_y. \end{cases}$$

Кроме того, можно рассматривать матрицу $a[x, y]$ как функцию $a(x, y)$ от двух целых переменных и распространить её значения на всю действительную плоскость с помощью некоторой интерполяционной формулы. Таким образом, функция $a : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ определена на всей действительной плоскости.

Для получения изображения с матрицей $b[x, y]$ вдвое меньшего размера $\frac{m_x}{2} \times \frac{m_y}{2}$ можно использовать один из двух основных методов.

1. Усреднение:

$$b[x, y] = \frac{a[2x, 2y] + a[2x + 1, 2y] + a[2x, 2y + 1] + a[2x + 1, 2y + 1]}{4}. \quad (1)$$

2. Четные точки:

$$b[x, y] = a[2x, 2y]. \quad (2)$$

В настоящей работе мы ограничимся только первым методом.

В некоторых задачах (например при сжатии изображений) алгоритм уменьшения размера может использовать большее число смежных точек. Возникает необходимость вместо (1) рассматривать формулу более общего вида:

$$b[x, y] = \sum_{i,j} a[2x + i, 2y + j] \cdot \beta(i, j), \quad (3)$$

где $\beta(i, j)$ – некоторая весовая функция.

По результатам измерений можно отметить, что переход от усреднения по четырем точкам к взвешенному среднему по 16 показывает заметное улучшение точности аппроксимации. Взвешивание по 36 дает ещё некоторое улучшение, но дальнейшее увеличение области практически не сказывается на результатах интерполяции. Поэтому в настоящей работе мы ограничились случаем 36 ненулевых коэффициентов функции $\beta(i, j)$, среди которых только 6 являются различными. Они могут быть расположены следующим образом:

$$\begin{array}{cccccc} \beta_5 & \beta_4 & \beta_3 & \beta_3 & \beta_4 & \beta_5 \\ \beta_4 & \beta_2 & \beta_1 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_4 \\ \beta_3 & \beta_1 & \beta_0 & \beta_0 & \beta_1 & \beta_3 \\ \beta_3 & \beta_1 & \beta_0 & \beta_0 & \beta_1 & \beta_3 \\ \beta_4 & \beta_2 & \beta_1 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_4 \\ \beta_5 & \beta_4 & \beta_3 & \beta_3 & \beta_4 & \beta_5 \end{array}$$

причем их сумма должна быть равна 1:

$$4\beta_0 + 8\beta_1 + 4\beta_2 + 8\beta_3 + 8\beta_4 + 4\beta_5 = 1.$$

Работа состоит из четырех частей. В первом разделе приведено описание некоторых алгоритмов линейного удвоения размера изображений (метод ближайшего соседа, линейная и кубическая интерполяция, интерполяция посредством свертки с ядром Ланцоша), их свойства, а также описание алгоритма коррекции и метода 17-точечной интерполяции. Второй раздел включает описание методов оптимального уменьшения размера изображений для рассмотренных в первом разделе методов удвоения. В третьем разделе содержатся результаты численных оценок качества (точности) рассмотренных в работе методов удвоения. В последнем разделе подведены итоги проведенной работы.

1. Методы линейного удвоения размера изображения

Если матрица $b[x, y]$ половинного размера была получена по формуле (1) из матрицы $a[x, y]$, то

$$a(x, y) \approx b(0.5x - 0.25, 0.5y - 0.25), \quad (4)$$

а если по формуле (2),

$$a(x, y) \approx b(0.5x, 0.5y). \quad (5)$$

Для приближения значения функции в точке с нецелыми координатами будем использовать свертку с некоторым ядром $R(x, y)$:

$$f(x, y) = \sum_{i, j \in \mathbb{Z}} f(i, j) R(x - i, y - j).$$

Обычно предполагается, что ядро удовлетворяет условиям:

- $R(x, y) = 0$, если $|x| \geq Q, |y| \geq Q$ для некоторой константы Q ;
- $R(x, y) = R(|x|, |y|)$;
- $R(x, y) = R(y, x)$;
- $R(0, 0) = 1$;
- $R(i, j) = 0$ при целых (i, j) не равных нулю одновременно.

К данным условиям часто добавляют ещё одно, которое формализуется как

$$\sum_{i, j \in \mathbb{Z}} R(x - i, y - j) = 1$$

для всех действительных (x, y) . Очевидно, что достаточно проверить это равенство при $0 \leq x, y \leq 1$.

Будем называть ядро $R(x, y)$ *разложимым*, если

$$R(x, y) = R(x) \cdot R(y).$$

В случае применения формулы (4) нам требуются значения функции-ядра лишь в точках вида

$$(i + 0.25, j + 0.25), (i + 0.75, j + 0.25), (i + 0.25, j + 0.75), (i + 0.75, j + 0.75)$$

для целых (i, j) . Во всех далее рассматриваемых примерах константа Q не превышает 3, поэтому в случае разложимого ядра достаточно знать значения функции $R(x)$ в точках

$$0.25, \quad 0.75, \quad 1.25, \quad 1.75, \quad 2.25, \quad 2.75, \quad (6)$$

то есть всего шесть значений.

1.1. Тривиальная, линейная и кубическая интерполяции

Наиболее популярны следующие методы интерполяции значений яркости (см., например, [2], стр. 406):

- Тривиальная интерполяция (метод ближайшего соседа), то есть по ближайшей целой точке. Ядро интерполяции:

$$R_0(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq |x| < 0.5 \\ 0 & 0.5 \leq |x| \end{cases}$$

- Линейная интерполяция, ядро

$$R_1(x) = \begin{cases} 1 - |x| & 0 \leq |x| < 1 \\ 0 & 1 \leq |x| \end{cases}$$

- Кубическая интерполяция, её (одномерное) ядро можно записать в виде

$$R_3(x) = \begin{cases} (1 - |x|) \cdot (1 + |x|/2 - |x|^2/2) & 0 \leq |x| \leq 1 \\ (1 - |x|)(2 - |x|)(3 - |x|)/6 & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0 & |x| > 2 \end{cases}$$

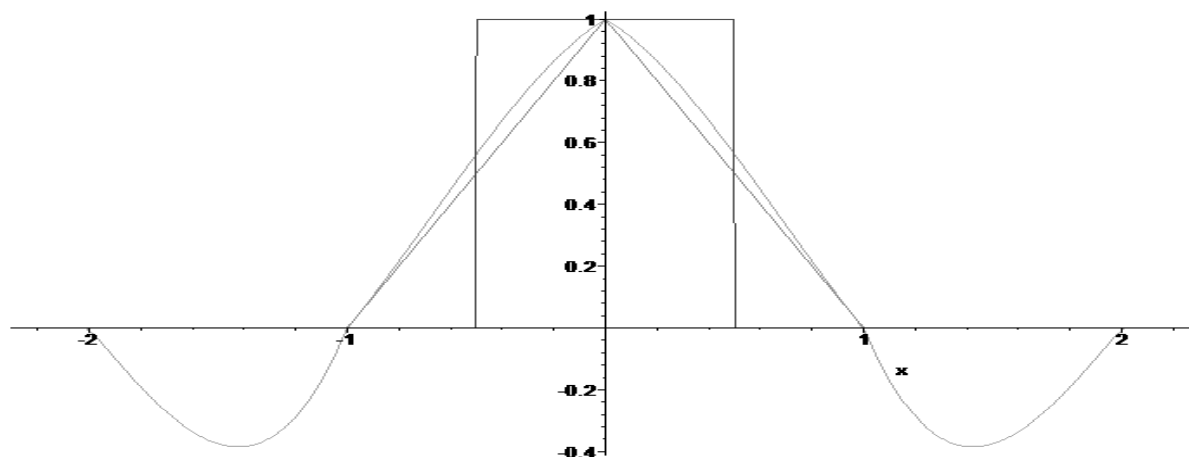


Рис. 1. Функции $R_0(x)$, $R_1(x)$, $R_3(x)$

Fig. 1. Functions $R_0(x)$, $R_1(x)$, $R_3(x)$

1.2. Ядро Ланцоша

Ядра Ланцоша считаются одними из наиболее эффективных при интерполяции значения яркости изображений, см., например, [6], стр. 231–232.

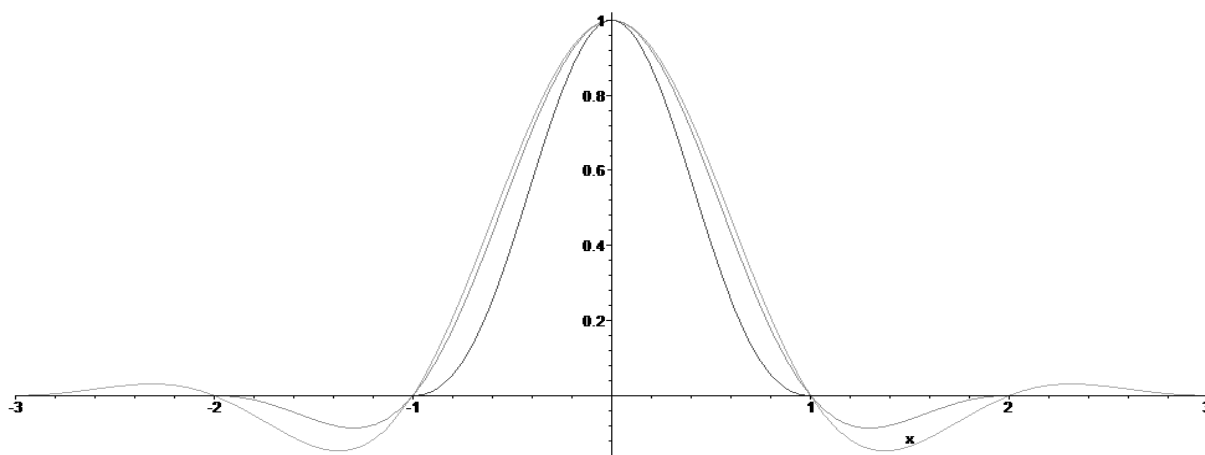


Рис. 2. Функции $L_1(x)$, $L_2(x)$, $L_3(x)$

Fig. 2. Functions $L_1(x)$, $L_2(x)$, $L_3(x)$

Пусть sinc – кардинальный синус, то есть

$$\text{sinc}(x) = \begin{cases} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} & x \neq 0 \\ 1 & x = 0 \end{cases}$$

Функцией Ланцоша с натуральным параметром a (размером окна) называется функция

$$L(x) = \begin{cases} C \cdot \text{sinc}(x) \text{sinc}(\frac{x}{a}) & |x| < a \\ 0 & |x| \geq a \end{cases}$$

где константа C подбирается таким образом, чтобы

$$\int L(x) = 1.$$

a	C
1	1.1076364143517988223
2	0.9903050711891360020
3	1.0029533506415752856

При использовании ядра Ланцоша следует иметь в виду, что из-за обнуления его значений при $|x| > a$, условие $\sum_i R(x-i) \equiv 1$ будет выполняться лишь приближенно. Поэтому весовые коэффициенты ядра необходимо пронормировать таким образом, чтобы их сумма равнялась 1.

1.3. Разложимые ядра

Как уже говорилось выше, в случае разложимого ядра для нахождения матрицы удвоенного размера нам нужна не вся функция $R(x)$, а лишь шесть её значений:

$$R(0.25), R(0.75), R(1.25), R(1.75), R(2.25), R(2.75),$$

то есть, фактически, вектор из шести чисел. Выпишем явно этот вектор во всех интересующих нас случаях.

- Тривиальная интерполяция, то есть по ближайшей целой точке. Значения разложимой функции R_0 в точках (6) таковы:

$$(1, 0, 0, 0, 0, 0).$$

- Линейная интерполяция, значения функции в шести точках:

$$(3/4, 1/4, 0, 0, 0, 0).$$

- Кубическая интерполяция:

$$(105, 35, -7, -5, 0, 0)/128.$$

- Интерполяция 5-й степени:

$$(3465, 1155, -693, -495, 77, 63)/8192.$$

- Ядро Ланцоша с параметром $a = 1$

$$(0.9, 0.1, 0, 0, 0, 0).$$

- Ядро Ланцоша с параметром $a = 2$

$$(0.8686065442, 0.2330001887, -0.08388006799, -0.01772666415, 0, 0),$$

или, с округлением до $1/256$:

$$(222, 60, -21, -5, 0, 0)/256.$$

- Ядро Ланцоша с параметром $a = 3$

$(0.89277077, 0.27101057, -0.13327464, -0.067997263, 0.030112286, 0.0073782709)$,

или, с округлением до $1/256$:

$$(229, 69, -34, -18, 8, 2)/256.$$

Замечание 1. Коэффициенты в ядрах Ланцоша нормируются так, чтобы их сумма равнялась единице.

Эти коэффициенты можно подобрать так, чтобы минимизировать погрешность на реальных файлах. Такие наборы будем называть оптимальными.

- Оптимальная линейная интерполяция

$$(7/8, 1/8, 0, 0, 0, 0).$$

- Оптимальная кубическая интерполяция

$$(254, 48, -38, -8, 0, 0)/256.$$

- Оптимальная пятой степени

$$(256, 37, -36, -6, 4, 1)/256.$$

1.4. 17-точечная интерполяция

Во всех рассмотренных выше случаях ядро $R(x, y)$ имело вид произведения: $R(x, y) = R(x)R(y)$. В общем случае это не обязательно так. В работе [4] предложена 17-точечная интерполяционная формула, ядро которой не может быть записано в таком виде.

Если мы хотим использовать функцию-ядро лишь для удвоения размера изображения, достаточно будет определить значения функции R в точках вида $R(k \pm 0.25, l \pm 0.25)$ где k, l – целые числа. Поэтому с учетом симметричности ($R(x, y) = R(|x|, |y|)$) нужные нам значения функции $R(x, y)$ можно задать таблицей:

R_{17}	$1/4$	$3/4$	$5/4$	$7/4$	$9/4$
$1/4$	r_0	r_1	r_3	r_4	r_9
$3/4$	r_1	r_2	r_5	r_7	
$5/4$	r_3	r_5	r_6	r_8	
$7/4$	r_4	r_7	r_8		
$9/4$	r_9				

Таким образом, функция $R(x, y)$ определяется десятью коэффициентами. 17-точечной она названа потому, что интерполированное значение вычисляется как взвешенная сумма значений исходной функции в 17 ближайших целых точках.

Большое количество численных экспериментов позволило найти формулу близкую к оптимальной в этом классе:

$$\{r_0, \dots, r_9\} = \{256, 45, 13, -46, -7, -9, 3, -2, 1, 10\}/256. \quad (7)$$

Добавление дополнительных ненулевых коэффициентов к ядру позволяет улучшить качество алгоритма в лучшем случае на сотые процента и вряд ли может быть признано целесообразным.

1.5. Коррекция алгоритма удвоения

Пусть B — изображение, уменьшенное в два раза с помощью (1). Допустим, что у нас имеется некоторый алгоритм удвоения размера изображения $\psi : B \rightarrow C$. Если увеличенное изображение C уменьшить вдвое, то мы не обязательно получим B при его увеличении.

Поэтому рассмотрим следующий алгоритм улучшения восстановленного изображения C . Пусть B' — аппроксимация изображения B , полученная усреднением увеличенного изображения C . Тогда, в силу линейности (1) коррекция значений C определяется следующим соотношением:

$$\begin{aligned} C(2x, 2y) &= C(2x, 2y) + e(x, y), \\ C(2x + 1, 2y) &= C(2x + 1, 2y) + e(x, y), \\ C(2x, 2y + 1) &= C(2x, 2y + 1) + e(x, y), \\ C(2x + 1, 2y + 1) &= C(2x + 1, 2y + 1) + e(x, y), \end{aligned} \quad (8)$$

где $e(x, y) = B(x, y) - B'(x, y)$ — величина отклонения истинного значения от аппроксимации.

Приведенный метод коррекции позволяет улучшить качество аппроксимации некоторых линейных методов удвоения (см. таблицу далее).

2. Оптимальное уменьшение размера изображения

Если при уменьшении размера изображения вдвое мы перейдем от формулы (1) к более сложной (3), то для всех рассмотренных выше методов можно подобрать оптимальные значения шести коэффициентов

$$(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5) \quad (9)$$

таким образом, чтобы погрешность получалась минимальной. Рассмотрим эти методы более детально.

Линейная интерполяция. Оптимальные значения коэффициентов β_i :

$$(109, 0, -3, -30, 5, 8)/256.$$

Кубическая интерполяция:

$$(82, 8, -6, -20, 5, 2)/256.$$

Пятой степени:

$$(74, 8, -1, -17, 3, 3)/256.$$

Ланцош $a = 1$:

$$(77, 6, -2, -16, 4, 1)/256.$$

Ланцош $a = 2$:

$$(75, 7, -2, -16, 4, 1)/256.$$

Ланцош $a = 3$:

$$(64, 12, -3, -14, 3, 1)/256.$$

Оптимальная линейная формула. Будем одновременно подбирать два коэффициента линейной интерполяционной формулы $(R(1/4), R(3/4))$ и шесть коэффициентов β_i . Оптимальным следует признать набор

$$(R(1/4), R(3/4)) = (200, 56)/256$$

и

$$(\beta_0, \dots, \beta_5) = (103, 0, -1, -26, 2, 10)/256.$$

Оптимальная кубическая формула. Будем одновременно подбирать четыре коэффициента линейной интерполяционной формулы $(R(1/4), R(3/4), R(5/4), R(7/4))$ и β_i . Оптимальным следует признать набор

$$(R(\dots)) = (235, 47, -23, -3)/256,$$

и

$$(\beta_0, \dots, \beta_5) = (70, 7, 0, -12, 0, 4)/256.$$

Оптимальная формула 5-й степени. Будем одновременно подбирать шесть коэффициентов линейной интерполяционной формулы

$$(R(1/4), R(3/4), R(5/4), R(7/4), R(9/4), R(11/4))$$

и β_i .

Оптимальным следует признать набор

$$(R(\dots)) = (236, 54, -49, -7, 21, 1)/256$$

и

$$(\beta_0, \dots, \beta_5) = (62, 14, 3, -13, -2, 1)/256.$$

И, наконец, **17-точечная формула.** Оптимальные коэффициенты β_i оказались следующими:

$$\{\beta_0, \dots, \beta_5\} = \{72, 15, 2, -17, -4, 2\}/256,$$

а соответствующие коэффициенты $r_0, \dots, r_9$ 17-точечной формулы:

$$\{190, 45, 14, -34, -4, -2, 6, 1, 1, 16\}/256.$$

3. Результаты расчетов

При сравнении алгоритмов было проведено тестирование на большом количестве изображений различного происхождения и качества. В таблице, представленной ниже, даны результаты для 13 небольших стандартных изображений, часто используемых в такого рода экспериментах:

Airplane.bmp, Car.bmp, Couple.bmp, Girl.bmp, House.bmp, Lake.bmp, Lena.bmp, Mandrill.bmp, Peppers.bmp, Splash.bmp, Tiffany.bmp, Tree.bmp, Woman.bmp.

Путь B – изображение, уменьшенное вдвое, и C_T – изображение B , увеличенное тривиальным методом. Тогда оценку качества алгоритма удвоения можно представить соотношением:

$$D(A, C) = MSE(A, C)/MSE(A, C_T), \quad (10)$$

где A – исходное изображение, а C – увеличенное вдвое рассматриваемым методом изображение B .

Для каждого метода в таблице представлены усредненные значения (10) по всему набору файлов в четырех вариантах:

- 1) исходный метод;
- 2) с коррекцией $corr$;
- 3) с оптимальным уменьшением ods ;
- 4) с оптимальным уменьшением и коррекцией $ods + corr$.

Например, для метода «Ланцош $a = 3$ » погрешность составляет 88.289% от погрешности тривиального метода, а при условии оптимального уменьшения и последующей коррекции — 83.809% от погрешности тривиального метода.

Метод	D	$corr$	ods	$ods + corr$
Тривиальный	10.10817			
Линейный	0.91519	0.82115	0.79500	0.78666
Кубический	0.84574	0.79950	0.78953	0.77392
5-й степени	0.82708	0.79283	0.78304	0.76908
Ланцош $a=1$	0.92254	0.90744	0.90265	0.90601
Ланцош $a=2$	0.82749	0.80067	0.78471	0.77886
Ланцош $a=3$	0.80676	0.79032	0.77608	0.76897
Лин. оптим.	0.91224	0.88835	0.80943	0.78512
Куб. оптим.	0.79730	0.79565	0.79589	0.77739
5-й ст.опт.	0.80825	0.80825	0.78501	0.77580
17 точек	0.79032	0.79032	0.76898	0.76890

Данные на других изображениях, конечно же, отличаются от представленных в таблице, однако не слишком сильно. И, самое главное, соотношение между различными методами остается тем же самым.

4. Выводы

- Если уменьшение изображения проводится путем усреднения по 4-м соседним точкам, то наилучшие результаты среди рассмотренных линейных формул дает 17-точечная интерполяция с ядром (7). Дальнейшее усложнение формулы улучшает результат на сотые процента и вряд ли может быть признано целесообразным.
- Коррекция удвоенного изображения (п. 1.5) – предложенный способ повышения точности аппроксимации. Дает отличные результаты для простых методов (например линейная интерполяция). Однако при использовании наиболее сложных алгоритмов (17-точечный, Ланцош $a = 3$) улучшения оказываются незначительными.

- Если имеется возможность выбирать метод уменьшения изображения вдвое или известен алгоритм уменьшения, посредством которого было получено исходное изображение A , то алгоритм удвоения можно несколько улучшить.
- Дальнейшее улучшение точности возможно лишь при использовании нелинейных или адаптивных методов.

Список литературы / References

- [1] Ватолин Д. и др., *Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео*, Диалог – МИФИ, М., 2002, ISBN: 5-86404-170-X, 384 с.; [Vatolin D. et al., *Metody szhatiya dannyykh. Ustroystvo arkhivatorov, szhatie izobrazheniy i video*, Dialog – MIFI, M., 2002, 384 pp., (in Russian).]
- [2] Гонсалес Р., Вудс Р., *Цифровая обработка изображений*, Техносфера, М., 2012, ISBN: 978-5-94836-331-8, 1104 с.; [Gonsales R., Vuds R., *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*, Tekhnosfera, M., 2012, 1104 pp., (in Russian).]
- [3] Прэтт У., *Цифровая обработка изображений*, 1, Мир, М., 1982, 312 с.; [Prett U., *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*, 1, Mir, M., 1982, 312 pp., (in Russian).]
- [4] Хашин С.И., “Семнадцатиточечная интерполяционная формула от 2 переменных”, *Вестник ИвГУ*, 2003, №3, 133–137; [Khashin S.I., “Semnadsatitochelnaya interpolatsionnaya formula ot 2 peremennykh”, *Ivanovo State University Bulletin*, 2003, №3, 133–137, (in Russian).]
- [5] Яне Б., *Цифровая обработка изображений*, Техносфера, М., 2007, 583 с.; [Yane B., *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*, Tekhnosfera, M., 2007, 583 pp., (in Russian).]
- [6] Wilhelm Burger, Mark J. Burge, *Principles of digital image processing: core algorithms*, Springer-Verlag, London, 2009, ISBN: 978-1-84800-194-7, 327 pp.
- [7] David S. Taubman, Michael W. Marcellin, *JPEG2000: image compression fundamentals, standards, and practice*, Springer Science+Business Media, LLC, 2002, ISBN: 978-1-4613-5245-7, 773 pp.
- [8] Wallace G. K., “The JPEG still picture compression standard”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, **38**:1 (1992), xviii – xxxiv.
- [9] Robert G. Keys, “Cubic Convolution Interpolation for Digital Image”, *Processing IEEE transaction on acoustics, speech, and signal processing*, **29**:6 (1981), 1153–1160.
- [10] Klette R., *Concise Computer Vision. An Introduction into Theory and Algorithms*, Springer-Verlag, London, 2014, ISBN: 978-1-4471-6320-6, 429 pp.
- [11] Xin Li, Michael T. Orchard, “New Edge-Directed Interpolation”, *IEEE Transactions on Image Processing*, **10**:10 (2001), 1521–1527.

Vaganov S. E., Khashin S. I., "Comparison of Doubling the Size of Image Algorithms", *Modeling and Analysis of Information Systems*, **23**:4 (2016), 389–400.

DOI: 10.18255/1818-1015-2016-4-389-400

Abstract. In this paper the comparative analysis for quality of some interpolation non-adaptive methods of doubling the image size is carried out. We used the value of a mean square error for estimation accuracy (quality) approximation. Artifacts (aliasing, Gibbs effect (ringing), blurring, etc.) introduced by interpolation methods were not considered. The description of the doubling interpolation upscale algorithms are presented, such as: the nearest neighbor method, linear and cubic interpolation, Lanczos convolution interpolation (with $a=1,2,3$), and 17-point interpolation method. For each method

of upscaling to twice optimal coefficients of kernel convolutions for different down-scale to twice algorithms were found. Various methods for reducing the image size by half were considered the mean value over 4 nearest points and the weighted value of 16 nearest points with optimal coefficients. The optimal weights were calculated for each method of doubling described in this paper. The optimal weights were chosen in such a way as to minimize the value of mean square error between the accurate value and the found approximation.

A simple method performing correction for approximation of any algorithm of doubling size is offered. The proposed correction method shows good results for simple interpolation algorithms. However, these improvements are insignificant for complex algorithms (17-point interpolation, Lanczos $a=3$). According to the results of numerical experiments, the most accurate among the reviewed algorithms is the 17-point interpolation method, slightly worse is Lanczos convolution interpolation with the parameter $a=3$ (see the table at the end).

Keywords: interpolation, convolution of function, Lanczos filter, 17-point interpolation

On the authors:

Vaganov Sergey Evgenevich, orcid.org/0000-0002-8642-8555, graduate student,
Ivanovo State University, Ermaka str., 39, Ivanovo, 153025, Russia,
e-mail: pro100-pioner@mail.ru

Khashin Sergey Ivanovich, orcid.org/0000-0002-6508-663X, PhD,
P.G. Ivanovo State University,
Ermaka str., 39, Ivanovo, 153025, Russia, e-mail: khash2@mail.ru

Acknowledgments:

This work was supported by the Federal targeted Program "Scientific and Scientific-pedagogical Personnel of Innovative Russia" under the Grant No 162 (2014/40).