

# Дифференциальный метод компрессии многомерных сигналов на основе адаптированного алгоритма параметризованной интерполяции

А.И. Максимов<sup>1</sup>, М.В. Гашников<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

**Аннотация.** Параметризованные алгоритмы интерполяции многомерных сигналов адаптируются для использования в составе дифференциальных методов компрессии, основанных на эффективном кодировании квантованных разностей между исходными и интерполирующими значениями отсчётов при последовательной развёртке сигнала. Исследуемые интерполяторы основаны на классификации отсчётов сигнала и использовании различных интерполяционных формул внутри классов. Описывается классификатор отсчётов и процедура его обучения, а также набор интерполирующих функций для рассматриваемого метода компрессии. Результаты вычислительных экспериментов на реальных многомерных сигналах подтверждают, что использование адаптированного параметризованного интерполятора приводит к повышению эффективности метода дифференциальной компрессии.

## 1. Введение

Алгоритмы интерполяции многомерных сигналов можно, за редким исключением, отнести к одному из двух видов [1]: адаптивные алгоритмы и, соответственно, неадаптивные. Наиболее распространёнными примерами неадаптивных алгоритмов, обладающих относительно малой вычислительной сложностью за счёт отсутствия учёта локальных особенностей сигнала, являются: прямоугольная интерполяция по ближайшему (либо соседнему) отсчёту, а также билинейная и бикубическая интерполяции [2].

Адаптивные алгоритмы, напротив, учитывают особенности локальной окрестности каждого отсчёта, что обычно позволяет улучшить точность за счёт ухудшения скорости. В качестве примеров таких алгоритмов можно назвать DCCI [3], NEDI [4-5], алгоритмы повышения разрешения на основе нейронных сетей [6-7], а также многие другие алгоритмы [8-10]. В данной работе рассматриваются адаптивные параметризованные алгоритмы интерполяции [11], основанные на классификации отсчётов сигнала с использованием локальных признаков и применении простой интерполирующей формулы для каждого класса отсчётов.

Целью данной работы является адаптация указанных параметризованных интерполяторов для дифференциальных методов [2,8] компрессии многомерных сигналов, основанных на интерполяции отсчётов сигнала в ходе некоторой последовательной развёртки этих отсчётов с последующим сжатием погрешностей интерполяции.

## 2. Дифференциальная компрессия многомерных сигналов

При дифференциальной компрессии [2,8] отсчёты многомерного сигнала  $f(\vec{x})$  обрабатываются последовательно. При этом каждый отсчёт  $f(\vec{x})$  интерполируется с помощью функции  $R$  на основе ближайших уже обработанных (прошедших компрессию и декомпрессию) отсчётов  $\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}$ , после чего вычисляется разностный сигнал  $v(\vec{x})$ , который затем квантуется функцией  $W$  для вычисления квантованного разностного сигнала  $w(\vec{x})$ :

$$r(\vec{x}) = R(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}), \quad v(\vec{x}) = f(\vec{x}) - r(\vec{x}), \quad w(\vec{x}) = W(v(\vec{x})), \quad (1)$$

где  $r(\vec{x})$  – интерполированный сигнал, а  $\Delta$  – множество смещений опорных отсчётов при интерполяции. Для квантования в данной работе использовался квантователь с управлением абсолютной погрешностью  $e_{abs}$

$$W(v(\vec{x})) = \text{sign}(v(\vec{x})) \left[ \left( |v(\vec{x})| + e_{abs} \right) / (2e_{abs} + 1) \right] (2e_{abs} + 1), \quad (2)$$

где  $[..]$  выделяет целую часть числа, а функция  $\text{sign}(\dots)$  вычисляет его знак.

Затем производится восстановление (декомпрессия) текущего отсчета, т.е. вычисление значения отсчёта, которое будет впоследствии вычислено при декомпрессии:

$$g(\vec{x}) = w(\vec{x}) + r(\vec{x}). \quad (3)$$

Описанная обратная связь (интерполяция не по исходным, а по декомпрессированным значениям отсчётов) необходима для обеспечения идентичности работы интерполятора на этапах компрессии и декомпрессии (при декомпрессии исходный сигнал уже недоступен).

Квантованный разностный сигнал  $w(\vec{x})$ , обработанный статистическим кодером для уменьшения объёма данных, направляется в канал связи или хранилище архивных данных.

## 3. Адаптация параметризованного алгоритма для дифференциальной компрессии

### 3.1 Параметризованный алгоритм интерполяции многомерного сигнала

Перед собственно интерполяцией будем классифицировать отсчёты сигнала на основе локального признака  $\vec{\alpha}(\vec{x})$ :

$$c(\vec{x}) = C(\vec{\alpha}(\vec{x}), \vec{\beta}), \quad (4)$$

где  $c(\vec{x})$  – номер класса отсчёта с координатами  $\vec{x}$ ,  $\vec{\alpha}(\vec{x})$  – локальный признак,  $C(\vec{\alpha}(\vec{x}), \vec{\beta})$  – классификатор,  $\vec{\beta}$  – параметр классификатора, который вычисляется для каждого сигнала заново процедурой обучения на основе оптимизации некоторого критерия.

Каждому классу номер  $c(\vec{x})$  соответствует своя интерполирующая функция  $R_c$ , а собственно интерполяция записывается следующим образом:

$$r(\vec{x}) = R(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}) = R_c(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}), \quad c = C(\vec{\alpha}(\vec{x}), \vec{\beta}) \quad (5)$$

При обучении классификатора  $C(\vec{x})$  роль как обучающей, так и контрольной выборки играет один и тот же сигнал – декомпрессированный сигнал  $g(\vec{x})$ .

Для адаптации параметризованного интерполятора к дифференциальной компрессии нужно конкретизировать следующие элементы интерполяционного алгоритма: классификатор отсчётов, критерий оптимизации классификатора, процедура оптимизации классификатора, набор интерполирующих функций.

### 3.2. Классификатор отсчётов при параметризованной интерполяции

Классифицировать отсчёты сигнала будем на основе выраженности направленных артефактов в окрестности текущего отсчета, которую будем вычислять с использованием набора оценок частных производных  $\{g'_m(\vec{x}), m \in [0, M]\}$  по различным направлениям ( $M$  – количество направлений), которые вычисляются на основе опорных отсчётов  $\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}$  и соседних с ними уже обработанных отсчётов (эти оценки могут быть легко вычислены на основе дискретных разностей уже обработанных отсчётов).

Упорядочим производные  $g'_m(\vec{x})$  по возрастанию, перенумеруем их и переобозначим, то есть составим из них вариационный ряд  $\hat{g}'_1(\vec{x}) \leq \hat{g}'_2(\vec{x}) \leq \dots \leq \hat{g}'_M(\vec{x})$ . Будем считать, что в окрестности текущего отсчёта присутствует направленный артефакт, если наименьшая производная  $\hat{g}'_1(\vec{x})$  достаточно сильно отличается от всех остальных. Величину этого отличия будем описывать локальным признаком  $\alpha(\vec{x})$ , для вычисления которого будем использовать один из следующих трёх ранговых фильтров:

$$\alpha_1(\vec{x}) = \hat{g}'_2(\vec{x}) - \hat{g}'_1(\vec{x}), \quad \alpha_2(\vec{x}) = \frac{\hat{g}'_1(\vec{x})}{E(\{\hat{g}'_m(\vec{x}) : m \in [1, M]\})}, \quad \alpha_3(\vec{x}) = \frac{\alpha_1(\vec{x})}{E(\{\hat{g}'_m(\vec{x}) - \hat{g}'_{m-1}(\vec{x}) : m \in [3, M]\})},$$

где оператор  $E$  выполняет усреднение:

$$E(\{\hat{g}'_m(\vec{x}) : m \in [1, M]\}) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \hat{g}'_m(\vec{x}). \quad (6)$$

Зависящий от параметра  $\beta$  классификатор  $C(\alpha(\vec{x}), \beta)$  в этой ситуации основан на пороговой функции  $C(\alpha(\vec{x}), \beta) = 1 + \text{Bin}(\beta - \alpha(\vec{x}))$ , которая выбирает одну интерполирующую формулу, если направленный артефакт присутствует, и другую, если он отсутствует.

### 3.3. Критерий оптимизации классификатора

В качестве критерия оптимизации интерполятора в данной работе выбран критерий минимизации энтропии  $h(\beta)$  квантованного разностного сигнала  $w(\vec{x})$

$$h(\beta) = - \sum_{\tilde{w}=w_{\min}}^{w_{\max}} \tilde{w}(\beta, \tilde{w}) \log_2 \tilde{w}(\beta, \tilde{w}) \rightarrow \min_{\beta}, \quad \tilde{w}(\beta, \tilde{w}) = \text{card}\{w(\vec{x}) : w(\vec{x}) = \tilde{w}\}, \quad (7)$$

где  $\tilde{w}(\beta, \tilde{w})$  это количество значений квантованного разностного сигнала  $w(\vec{x})$ , равных  $\tilde{w}$ , зависящее в том числе и от параметра  $\beta$ , который определяет выбор интерполирующих формул в каждой точке сигнала, тем самым оказывая влияние на разностный сигнал. Выбор этого критерия обусловлен тем, что энтропия хорошо аппроксимирует размер сжатых данных, поэтому такой критерий является наиболее подходящим для задачи компрессии.

Для решения оптимизационной задачи (7) предварительно набирается статистика  $\hat{W}(\tilde{\alpha}, c, \tilde{w})$  количества значений квантованного разностного сигнала  $w(\vec{x})$  для всех классов  $c(\vec{x})$  и всех значений признака  $\alpha(\vec{x})$ :

$$\hat{W}(\tilde{\alpha}, c, \tilde{w}) = \text{card}\left\{\vec{x} : \alpha(\vec{x}) = \tilde{\alpha}, W(f(\vec{x}) - R_{c(\vec{x})}(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\})) = \tilde{w}\right\} \quad (8)$$

Количество  $\hat{w}(\beta, \tilde{w})$  значений разностного сигнала для минимально возможного параметра  $\beta$ , равного  $\alpha_{\min}$ , можно вычислить следующим образом:

$$\widehat{w}(\alpha_{\min}, w) = \sum_{\alpha=\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \widehat{W}(\alpha, 2, w), \quad (9)$$

так как в этом случае для всех отсчётов используется одна и та же интерполирующая формула.

Значения  $\widehat{w}(\beta, \tilde{w})$  для всех остальных значений параметра  $\beta$  вычисляются следующей процедурой:

$$\widehat{w}(\beta, w) = \widehat{w}(\beta - 1, w) - \widehat{W}(\beta - 1, 2, w) + \widehat{W}(\beta - 1, 1, w). \quad (10)$$

После вычисления количества  $\widehat{w}(\beta, \tilde{w})$  значений разностного сигнала, энтропия  $h(\beta)$  этого сигнала может быть вычислена по формуле (7) для всех значений параметра  $\beta$ . Так как этих значений немного, то перебор по  $\beta$  среди значений энтропии  $h(\beta)$  даст искомое решение поставленной задачи оптимизации.

## 2.6. Интерполирующие функции параметризованного интерполятора

Классификатор (4) на основе признака  $\alpha(\vec{x})$  позволяет в каждой точке определить, присутствует ли в окрестности протяжённый артефакт. Если артефакт отсутствует, то для интерполяции будем использовать усреднение по ближайшим опорным отсчётам

$$R_1(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}) = \sum_{\vec{\delta} \in \Delta} g(\vec{x} + \vec{\delta}) / \text{card}\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}. \quad (11)$$

Если протяжённый артефакт присутствует, то в качестве интерполирующего значения  $R_2(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\})$  будем использовать тот опорный отсчёт, который расположен в направлении этого артефакта, которое определяется минимальным значением производной по направлению  $g'_m(\vec{x})$ . Таким образом, общая интерполяционная формула (5) приобретает вид:

$$r(\vec{x}) = \begin{cases} R_1(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}) = \sum_{\vec{\delta} \in \Delta} g(\vec{x} + \vec{\delta}) / \text{card}\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}, \alpha(\vec{x}) < \beta \\ R_2(\{g(\vec{x} + \vec{\delta}) : \vec{\delta} \in \Delta\}) = g(\vec{x} + \vec{\delta}^{(k)}), k = \arg \min_m g'_m(\vec{x}), \alpha(\vec{x}) \geq \beta \end{cases} \quad (12)$$

Конкретизируем описанные интерполирующие функции для важного частного случая, когда размерность сигнала равна трём. Смещения опорных отсчётов в этом случае можно записать следующим образом:

$$\delta^{(0)}, \dots, \delta^{(9)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Далее будем использовать вспомогательную разность обработанных отсчётов:

$$d_m \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \left| g \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - g \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \delta^{(m)} \right|, m \in [0, 9], \quad (14)$$

на основе которой можно записать ненормированные оценки частных производных по направлениям

$$g'_0 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_0 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_0 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_0 \begin{pmatrix} x-1 \\ y+1 \\ z \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$g'_1 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_1 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_1 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_1 \begin{pmatrix} x-1 \\ y+1 \\ z \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$g'_2 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_2 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_2 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_2 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$g'_3 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_3 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_3 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_3 \begin{pmatrix} x+1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$g'_4 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_4 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_4 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_4 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$g'_5 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_5 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_5 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_5 \begin{pmatrix} x+1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$g'_6 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_6 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_6 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_6 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$g'_7 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_7 \begin{pmatrix} x-1 \\ y \\ z \end{pmatrix} + d_7 \begin{pmatrix} x+1 \\ y \\ z-1 \end{pmatrix} + d_7 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-2 \\ z \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$g'_8 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_8 \begin{pmatrix} x+1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_8 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_8 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z-1 \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$g'_9 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = d_9 \begin{pmatrix} x+1 \\ y-2 \\ z \end{pmatrix} + d_9 \begin{pmatrix} x \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} + d_9 \begin{pmatrix} x-1 \\ y-1 \\ z \end{pmatrix} \quad (24)$$

Тогда общая интерполяционная формула (12) приобретает вид:

$$r \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{cases} R_1 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \sum_{m=0}^9 g \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \delta^{(m)} \Big/ 10, \alpha \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} < \beta \\ R_2 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = g \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \delta^{(k)}, k = \arg \min_{0 \leq m \leq 9} g'_m \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \alpha \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \geq \beta \end{cases} \quad (25)$$

#### 4. Экспериментальное исследование параметризованного интерполятора в составе дифференциального метода компрессии

В данной статье предлагаемый параметризованный интерполятор исследован на реальных многомерных сигналах гиперспектрального набора UAVSAR [12] (138 компонент, пример см. на рис.1) в составе дифференциального метода компрессии. Вычислялись коэффициент сжатия  $K$  при использовании параметризованного интерполятора (с применением признаков  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ), коэффициент сжатия  $K'$  при использовании усредняющего интерполятора, а также их отношение  $\Delta K = K' / K$ , характеризующее выигрыш по коэффициенту компрессии,

обеспечиваемый заменой усредняющего интерполятора на параметризованный. Исследовалась зависимость коэффициента сжатия от абсолютной  $\varepsilon_{abs} = \max |f(\vec{x}) - g(\vec{x})|$  и квадратичной  $\varepsilon^2$  погрешности, нормированной на дисперсию сигнала.

Как видно из приведенных на рис. 2-5 зависимостей, использование предлагаемого интерполятора дает значительный выигрыш по коэффициенту сжатия. Лучшие результаты получены для признака  $\alpha_2$ , однако его использование увеличивает время работы. В целом, результаты демонстрируют заметный выигрыш предлагаемого алгоритма.

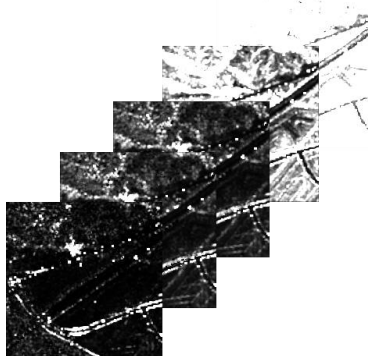


Рисунок 1. Пример компонент тестового сигнала.

## 5. Заключение

Параметризованные алгоритмы интерполяции многомерных сигналов модифицированы и адаптированы для использования в составе дифференциальных методов компрессии, основанных на эффективном кодировании квантованных разностей между исходными и интерполирующими значениями отсчётов при последовательной развёртке сигнала. Исследуемые интерполяторы основаны на классификации отсчётов сигнала и использовании различных интерполяционных формул внутри классов. Описан классификатор отсчётов и процедура его обучения, а также набор интерполирующих функций для рассматриваемого дифференциальной компрессии. Вычислительные эксперименты на реальных многомерных сигналах подтвердили, что использование адаптированного параметризованного интерполятора привело к повышению эффективности рассматриваемого метода дифференциальной компрессии.

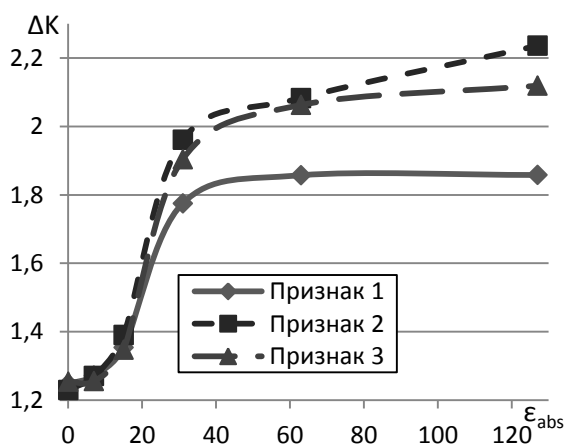


Рисунок 2. Выигрыш предлагаемого интерполятора у усредняющего.

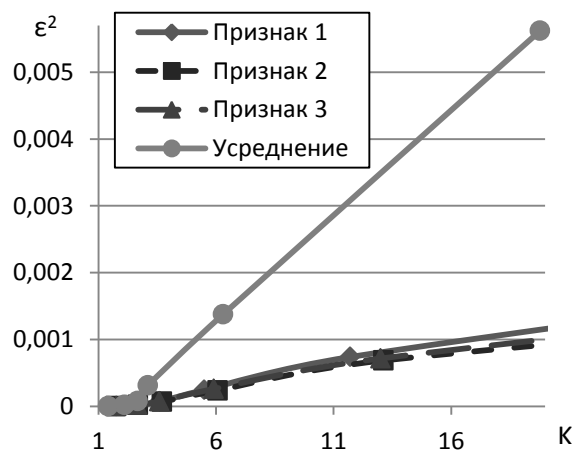


Рисунок 3. Квадратичная погрешность, нормированная на дисперсию сигнала.

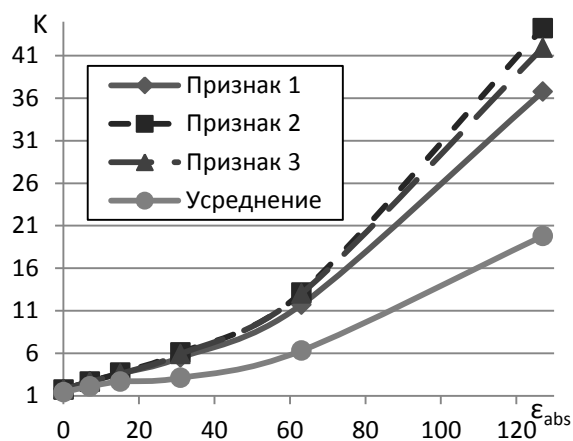


Рисунок 4. Зависимость коэффициента сжатия от абсолютной ошибки.

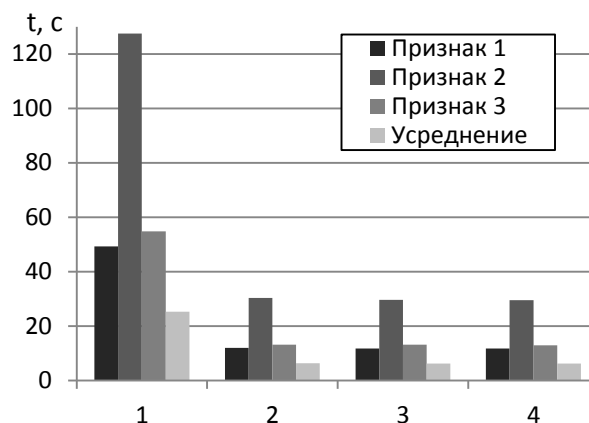


Рисунок 5. Среднее время обработки тестовых сигналов.

## 6. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-01-00667, 18-07-01312, а также Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/Ч3363/26).

## 7. Литература

- [1] Ваганов, С.Е. Сравнение алгоритмов удвоения размера изображения / С.Е. Ваганов, С.И. Хашин // Моделирование и анализ информационных систем. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 389-400. DOI: 10.18255/1818-1015-2016-4-389-400.
- [2] Soifer, V.A. Computer image processing, Part II: Methods and algorithms – Saarbrücken, Germany: VDM Verlag, 2010.
- [3] Zhou, D. Image zooming using directional cubic convolution interpolation / D. Zhou, X. Shen, W. Dong // IET Image Processing. – 2012. – Vol. 6(6). – P. 627-634. DOI: 10.1049/iet-ipr.2011.0534.
- [4] Li, X. New Edge-Directed Interpolation / X. Li, M.T. Orchard // IEEE Transactions on Image Processing. – 2001. – Vol. 10(10). – P. 1521-1527.
- [5] Гашников, М.В. Интерполяция на основе контекстного моделирования при иерархической компрессии многомерных сигналов / М.В. Гашников // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 3. – С. 468-475. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-3-468-475.
- [6] Dong, C. Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks / C. Dong, C.C. Loy, K. He, X. Tang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. – Vol. 38(2). – P. 295-307.
- [7] Ваганов, С.Е. Адаптивный нейросетевой метод построения интерполяционной формулы для удвоения размера изображения / С.Е. Ваганов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 4. – С. 627-631. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-4-627-631.
- [8] Gonzalez, R.C. Digital image processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods – Prentice Hall, 2007. – 976 p.
- [9] Gashnikov, M.V. Multidimensional signal interpolation based on parametric space dimension reduction / M.V. Gashnikov // 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), 2019. – P. 8757491.
- [10] Eldar, Y.C. Compressed Sensing: Theory and Applications and signal processing / Y.C. Eldar, G. Kutyniok – Cambridge University Press, 2012. – 558 p.
- [11] Гашников, М.В. Оптимизация интерполятора многомерного сигнала в пространстве уменьшенной размерности / М.В. Гашников // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 4. – С. 653-660. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-4-653-660.

- [12] UAVSAR dataset. Remote sensing laboratory. School of surveying and geospatial engineering [Electronic resource]. – Access mode: <https://rslab.ut.ac.ir/data> (10.11.2019).

## Differential method of multidimensional signals compression based on the adapted parameterized interpolation algorithm

A.I. Maksimov<sup>1</sup>, M.V. Gashnikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

**Abstract.** In this paper, parameterized algorithms of multidimensional signal interpolation are adapted for use as part of differential compression methods. These methods are based on the efficient coding of quantized differences between the initial and interpolated signal samples during sequential signal scanning. The proposed interpolators are based on the classification of signal samples and the use of various interpolation formulas within the classes. The sample classifier and its training procedure and a set of interpolating functions for the compression method are described. The results of experimental research on real multidimensional signals confirm that the use of an adapted parameterized interpolator leads to an increase in the efficiency of the differential compression method.