

УДК 681.32

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖАТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ БЛОЧНОГО АДАПТИВНОГО КВАНТОВАНИЯ

*канд. техн. наук, доц. Р.П. БОГУШ, И.Ю. ЗАХАРОВА,
канд. физ.-мат. наук, доц. Ю.Ф. ПАСТУХОВ, канд. физ.-мат. наук, доц. Д.Ф. ПАСТУХОВ
(Полоцкий государственный университет);
канд. техн. наук Н.М. НАУМОВИЧ
(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники)*

Для сжатия радиолокационных данных на основе блочного адаптивного квантования рассматривается получение пороговых значений методом решения системы нелинейных уравнений относительно координат углов ступенчатой функции, заменяющей плотность нормального распределения. В системе уравнений нормальное распределение присутствует как в явном виде, так и под знаком интеграла, нижний и верхний пределы которого неизвестны. Для экспериментов в качестве входных данных использовались значения отраженного сигнала радиолокатора с синтезом апертуры ERS-1, отсчеты которого представлены в виде синфазной и квадратурной компонент. Приведены результаты фокусировки с геометрической коррекцией восстановленных после сжатия и представленных в стандартном формате данных. Рассчитаны основные показатели качества работы квантователя.

Ключевые слова: синтезированная апертура, радиолокационное изображение, блочное адаптивное квантование.

Введение. В настоящее время в системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) антенны передаваемый поток данных достигает 4 Гб/с и выше [1, 2]. В большинстве случаев информация обладает избыточностью, благодаря чему возможно применение алгоритмов сжатия, причем их эффективность будет значительно выше, если учитывать особенности обрабатываемых данных. Известно, что значения компонент принимаемого сигнала радиолокатором с синтезированной апертурой имеют нормальное распределение с нулевым средним, поэтому для подобных сигналов используются алгоритмы блочного адаптивного квантования с пороговыми значениями для нормального типа распределения. Такие требования приводят к достаточно высоким требованиям при разработке квантователя, способного полностью использовать эффективную скорость передачи данных РСА, обеспечивая наилучшую производительность, а также совместимого с аппаратными ограничениями и обеспечивающего некоторую гибкость в отношении распределения скорости передачи по битам на выборку. В связи с чем одной из задач является синтез алгоритма квантования функции плотности нормального распределения на множестве ступенчатых функций на заданном интервале, свободного от ограничений по количеству уровней. Для определения эффективности полученных таким образом пороговых уровней необходимо выполнить моделирование сжатия на реальных радиолокационных данных и определить качественные характеристики квантователя.

Целью работы является моделирование сжатия комплексных радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли на основе блочного адаптивного квантования с использованием уровней квантования и восстановления, сформированных с использованием алгоритма получения пороговых значений в виде системы нелинейных уравнений относительно координат углов ступенчатой функции, заменяющей плотность нормального распределения.

1. Сжатие и восстановление комплексных радиолокационных данных

Алгоритм блочного адаптивного квантования основан на том, что динамический диапазон уровней мощности сигнала (от 0 до 255 или от -128 до +127) в выделенном блоке данных намного меньше, чем у всего набора данных [3, 4]. В качестве первого шага предлагается разделить необработанные данные на блоки небольшого размера по отношению ко всему набору входных данных. Минимальный размер блока выбирается таким образом, чтобы обеспечить нормальное распределение статистики внутри него, а максимальный размер ограничен мощностью сигнала, которая должна оставаться постоянной для него [5]. Для радиолокационных данных ДЗЗ одним из наиболее часто используемых является блок размером 128 отсчетов, который обеспечивает выполнение заданных условий. Алгоритм на основе блочного адаптивного квантования использует уровни Макса – Ллойда, удовлетворяющие критерию минимальной среднеквадратической ошибки.

Пороговые уровни квантования и восстановления при использовании квантователя с уровнями Макса – Ллойда связаны со среднеквадратическим значением уровня сигнала σ , поэтому для каждого блока вычисляется

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2},$$

где N – количество отсчетов сигнала в блоке;

x_i – значение уровня отсчета дискретного сигнала.

Определение значений оптимальных порогов квантования для минимизации ошибки выполняется согласно выражению

$$T_k = C_k \cdot \sigma,$$

где C_k – пороговое значение для квантователя, $k \in 1 \dots K$, K – количество уровней.

С использованием вычисленных оптимальных порогов квантования выполняется неравномерное эффективное кодирование входных отсчетов сигнала. Результат представляется в виде записей кодовых слов и величин стандартного отклонения для каждого блока данных.

Восстановление сжатых данных может быть выполнено в процессе их приема и распаковки. На первом шаге при восстановлении сжатых данных для каждого блока осуществляется извлечение из пакета среднеквадратическим значением уровня сигнала и определение оптимальных уровней восстановления:

$$R_k = D_k \cdot \sigma,$$

где D_k – пороговое значение для восстановления сигнала при использовании блочного адаптивного квантования.

2. Квантование функции плотности нормального распределения в метрике квадратичного отклонения

Определение. Пусть $m \in N$. Функция $f_m : [a, b] \rightarrow R(a < b)$ называется m -кусочно-постоянной на $[a, b]$, если $\exists x_1 < x_2 < \dots < x_{m-1}$ такие, что

$$x_0 = a < x_1 < x_2 < \dots < x_{m-1} < b = x_m,$$

$$f_m(x) = y_i = \text{const} \quad \forall x \in (x_{i-1}, x_i), \quad f_m(x_i) = y_i, \quad f_m(x_{i+1}) = y_{i+1}, \quad y_i \neq y_{i+1}, \quad \forall i = \overline{1, m-1}.$$

Множество m -ступенчатых функций (m – уровни функции) $f_m : [a, b] \rightarrow R(a < b)$ обозначим как $S_m[a, b]$.

Пусть $f : [a, b] \rightarrow \mathfrak{R}$, $f \in C^2[a, b]$, $f'(x) < 0$, $\forall x \in [a, b]$, $m \in N$. Для минимизации ошибки квантования требуется в пространстве m -ступенчатых функций найти наилучшее приближение $h_m : [a, b] \rightarrow R$ функции $f : [a, b] \rightarrow \mathfrak{R}$ в метрике квадратичного отклонения такое, что $\text{dist} = \|f - h_m\|_{C^2[a, b]} = \min_{f_m \in S_m[a, b]} \|f - f_m\|_{C^2[a, b]}$. С учетом этого расстояние оценивается как

$$\text{dist} = \|f - h_m\|_{C^2[a, b]} = \sqrt{\int_a^b (f(x) - h_m(x))^2 dx} = \min_{f_m \in S_m[a, b]} \sqrt{\int_a^b (f(x) - f_m(x))^2 dx} = \min_{f_m \in S_m[a, b]} \|f - f_m\|_{C^2[a, b]}.$$

Пусть ступенчатая функция $h_m(x) = y_k$ равна константе на отрезке $x \in (x_{k-1}, x_k)$, $k = \overline{1, m}$, при этом функция ошибки $G(x_1, \dots, x_{m-1}, y_1, y_m) = \sum_{k=1}^m \int_{x_{k-1}}^{x_k} (f(x) - y_k)^2 dx$ описывает квадрат отклонения данной функции $h_m : [a, b] \rightarrow R$ от функции нормального распределения $f : [a, b] \rightarrow \mathfrak{R}$. Необходимое условие экстремума функции $G(x_1, \dots, x_{m-1}, y_1, y_m)$ описывается системой уравнений

$$\frac{\partial G(x_1, \dots, x_{m-1}, y_1, y_m)}{\partial x_i} = G'_{x_i} = 0, \quad i = \overline{1, m-1}, \quad G'_{y_i} = 0, \quad i = \overline{1, m},$$

из которой следует

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x_i) = \frac{1}{2}(y_i + y_{i+1}), i = \overline{1, m-1} \\ \int_{x_{j-1}}^{x_j} f(x)dx = y_j(x_j - x_{j-1}), j = \overline{1, m} \\ x_0 = \text{const}, x_m = \text{const}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Система (1) имеет $2m - 1$ уравнений и $2m - 1$ неизвестных $x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, y_1, y_2, \dots, y_m$.

При квантовании необходимо приблизить функцию плотности нормального распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

ступенчатыми функциями таким образом, чтобы ошибка этого приближения была

минимально возможной. Условия $f \in C^2[a, b], f'(x) < 0, \forall x \in [a, b]$ гарантируют существование и единственность решения системы (1) для произвольного натурального m , а также наличие локального минимума для этого решения (1).

Учитывая экспоненциальное убывание плотности нормального распределения к нулю, в качестве правого края отрезка установлено значение равное 3, а в качестве левого края отрезка принималось нулевое значение.

Для решения указанной задачи разработан алгоритм решения системы (1) в предположении, что последний уровень принимает нулевое значение. Пусть $A = 3$ – параметр задачи (правый фиксированный конец отрезка $[0, A]$) Таким образом, имеем m ненулевых уровней и последний – $(m+1)$ -й – нулевой уровень, ($2m$ переменных и $2m$ уравнений):

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x_i) = \frac{1}{2}(y_i + y_{i+1}), i = \overline{1, m-1} \\ f(x_m) = \frac{1}{2}y_m, y_m > 0, y_{m+1} = y(A) = 0 \\ \int_{x_{j-1}}^{x_j} f(x)dx = y_j(x_j - x_{j-1}), j = \overline{1, m} \\ x_0 = \text{const} = 0, x_m < A. \end{array} \right. \quad (2)$$

И если m -й уровень ненулевой, получим другие граничные условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x_i) = \frac{1}{2}(y_i + y_{i+1}), i = \overline{1, m-1} \\ \int_{x_{j-1}}^{x_j} f(x)dx = y_j(x_j - x_{j-1}), j = \overline{1, m} \\ x_0 = \text{const} = 0, x_m = \text{const} = A, y_m > 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

и система содержит $2m - 1$ уравнений и $2m - 1$ неизвестных.

В работе при вычислении интегралов применен алгоритм для составной интегральной квадратурной формулы с 12-м порядком погрешности, когда исходный отрезок интегрирования делится на число частей кратное десяти (11 узлов равномерной сетки на каждой части). C_i, x_i, r – соответственно веса, узлы и невязка квадратурной формулы

$$\int_a^b f(z)dz = \sum_{i=0}^n \overline{C}_i f(x_i) + r(f). \quad (4)$$

Интегрируя степенные координатные функции z^{2s} на каноническом отрезке $[-1,1]$, $n_0 = 10$ – число частей, на которое делится отрезок $[-1,1]$, учитывая симметрию весов относительно центрального узла $z = 0$, получим

$$\begin{cases} \int_{-1}^1 dz = 2 = C_0 + 2 \sum_{k=1}^{n_0/2} C_k \\ \int_{-1}^1 z^{2s} dz = 2 / (2s + 1) = 2 \sum_{k=1}^{n_0/2} C_k (2k / n_0)^{2s}, s = \overline{1, n_0 / 2}. \end{cases} \quad (5)$$

Для канонического отрезка $[-1,1]$ запишем квадратурную формулу (4) в эквивалентном виде:

$$\int_{-1}^1 f(z) dz = \frac{hn_0}{2} \sum_{i=0}^{n_0} C_i f(x_i) = 5h \sum_{i=0}^{10} C_i f(x_i), \frac{hn_0}{2} = 1, x_i = -1 + ih, i = \overline{0, n_0}, \quad (6)$$

где h – шаг интегрирования;

$n_0 = 10$ – число отрезков, на которое делится канонический отрезок $[-1,1]$ и каждая часть из k в составной формуле исходного отрезка $[a, b]$.

Определенный интеграл на отрезке $[a, b]$ отличается от формулы (6) на отрезке $[-1,1]$ длиной интервала в $k = n / n_0 = \frac{b-a}{2}$ раз. Применяя замену переменных

$$x = \frac{b+a}{2} + \left(\frac{b-a}{2}\right)z, a \leq x \leq b, -1 \leq z \leq 1, dx = \left(\frac{b-a}{2}\right) dz = k dz$$

преобразуем формулу (4) к следующему виду:

$$\int_a^b f(x) dx = \int_{-1}^1 f(z) \left(\frac{b-a}{2}\right) dz = \frac{hn_0}{2} \sum_{i=0}^{n_0-k} C_i f(x_i), h = \frac{b-a}{n}, hn = b-a, x_i = a + ih, i = \overline{0, n}. \quad (7)$$

Разбивая канонический отрезок $[-1,1]$ $n_0 = 10$ равных частей (из соображений удобства разбиения), используя симметрию весовых коэффициентов, можно получить решение системы уравнений (5) ($n_0 = 10$), в которой 6 неизвестных коэффициентов ($C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$) являются решением системы $n_0 / 2 + 1 = 6$ линейных неоднородных уравнений с 11 алгебраическим порядком точности.

Изучив данные таблицы 1, видно, что алгебраический порядок точности системы уравнений (5) при $n_0 = 10$ равен 11, а порядок погрешности квадратурной формулы

$$\int_{-1}^1 f(z) dz = 5h \sum_{i=0}^{10} C_i f(x_i), 5h = 1, \sum_{i=0}^{10} C_i = 2, x_i = -1 + ih, i = \overline{0, 10}$$

равен 12 (C_i определяются с помощью формулы (7)).

Таблица 1. – Сравнение интеграла от координатной степенной функции и квадратурной интегральной формулы

Точное значение интеграла	Численное значение интеграла
a(0)=2.0000000000000000	b(0)=2.0000000000000004
a(1)=0.0000000000000000	b(1)=0.0000000000000000
a(2)=0.6666666666666666	b(2)=0.6666666666666669
a(3)=0.0000000000000000	b(3)=-0.0000000000000000
a(4)=0.4000000000000000	b(4)=0.4000000000000001
a(5)=0.0000000000000000	b(5)=-0.0000000000000000
a(6)=0.2857142857142857	b(6)=0.2857142857142858
a(7)=0.0000000000000000	b(7)=0.0000000000000000
a(8)=0.2222222222222222	b(8)=0.2222222222222223
a(9)=0.0000000000000000	b(9)=-0.0000000000000000
a(10)=0.1818181818181818	b(10)=0.1818181818181819
a(11)=0.0000000000000000	b(11)=-.0000000000000000
a(12)=0.1538461538461539	b(12)=0.1554621683809524

Для $n = kn_0 = 10 \cdot k$ ($n_0 = 10$) из выражения (6) получим составную формулу:

$$\int_a^b f(x)dx = 5h \sum_{i=0}^{n_0 \cdot k = n} \overline{C}_i f(x_i), h = \frac{b-a}{n}, x_i = a + ih, i = \overline{0, n}, \quad (8)$$

в которой весовые коэффициенты \overline{C}_i определяются с помощью составной формулы

$$\overline{C}_i = \begin{cases} \frac{16067}{299376} = C_5, i = 0 \vee i = n \\ \frac{26575}{74844} = C_4, i \equiv 1 \pmod{10} \vee i \equiv 9 \pmod{10} \\ \frac{-16175}{99792} = C_3, i \equiv 2 \pmod{10} \vee i \equiv 8 \pmod{10} \\ \frac{5675}{6237} = C_2, i \equiv 3 \pmod{10} \vee i \equiv 7 \pmod{10} \\ \frac{-4825}{5544} = C_1, i \equiv 4 \pmod{10} \vee i \equiv 6 \pmod{10} \\ \frac{17807}{12474} = C_0, i \equiv 5 \pmod{10} \\ \frac{16067}{149688} = 2C_5, i \equiv 0 \pmod{10} \wedge i > 0 \wedge i < n. \end{cases} \quad (9)$$

Отметим, что при уменьшении шага интегрирования в два раза погрешность невязки в формуле (8) уменьшается в 2^{12} раз [9, 10].

Положительные уровни квантования и восстановления (отрицательные уровни симметричны относительно оси ординат) по представленной методике для трех значений разрядности квантователя представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Рассчитанные уровни квантования и восстановления по представленной методике

Разрядность квантователя					
$k = 3$		$k = 4$		$k = 5$	
Ck	Dk	Ck	Dk	Ck	Dk
0	0.4932	0	0.3160	0	0.1979
0.78	0.9867	0.5244	0.6320	0.3492	0.3925
1.2314	1.466	0.7706	0.8889	0.5017	0.5410
1.7057	1.9454	1.0064	1.1457	0.6435	0.6894
		1.2424	1.4149	0.7686	0.8272
		1.4868	1.6842	0.8910	0.9650
		1.7941	2.0212	1.0099	1.1018
		2.1458	2.3582	1.1290	1.2385
				1.2516	1.3809
				1.3765	1.5233
				1.5125	1.6786
				1.6540	1.8338
				1.8204	2.0131
				1.9995	2.1925
				2.2463	2.4196
				2.5360	2.6468

Используя данный подход можно определить значения уровней практически для любой разрядности квантователя.

3. Результаты моделирования

Сжатие и восстановление данных на основе блочного адаптивного квантования с последующей записью их в стандартный формат и с дальнейшей фокусировкой реализованы с использованием программного пакета MatLab. Для экспериментов в качестве входных значений использовались данные РСА

ERS-1 с 8-битными синфазной и квадратурной составляющими. Для фокусировки и формирования радиолокационного изображения с геометрической коррекцией использовался алгоритм, реализованный в пакете MatLab, из [6].

На рисунке 1, *a* представлено сфокусированное радиолокационное изображение без предварительной обработки, на рисунках 1, *б – г* показаны результирующие изображения, полученные после квантования и восстановления данных.

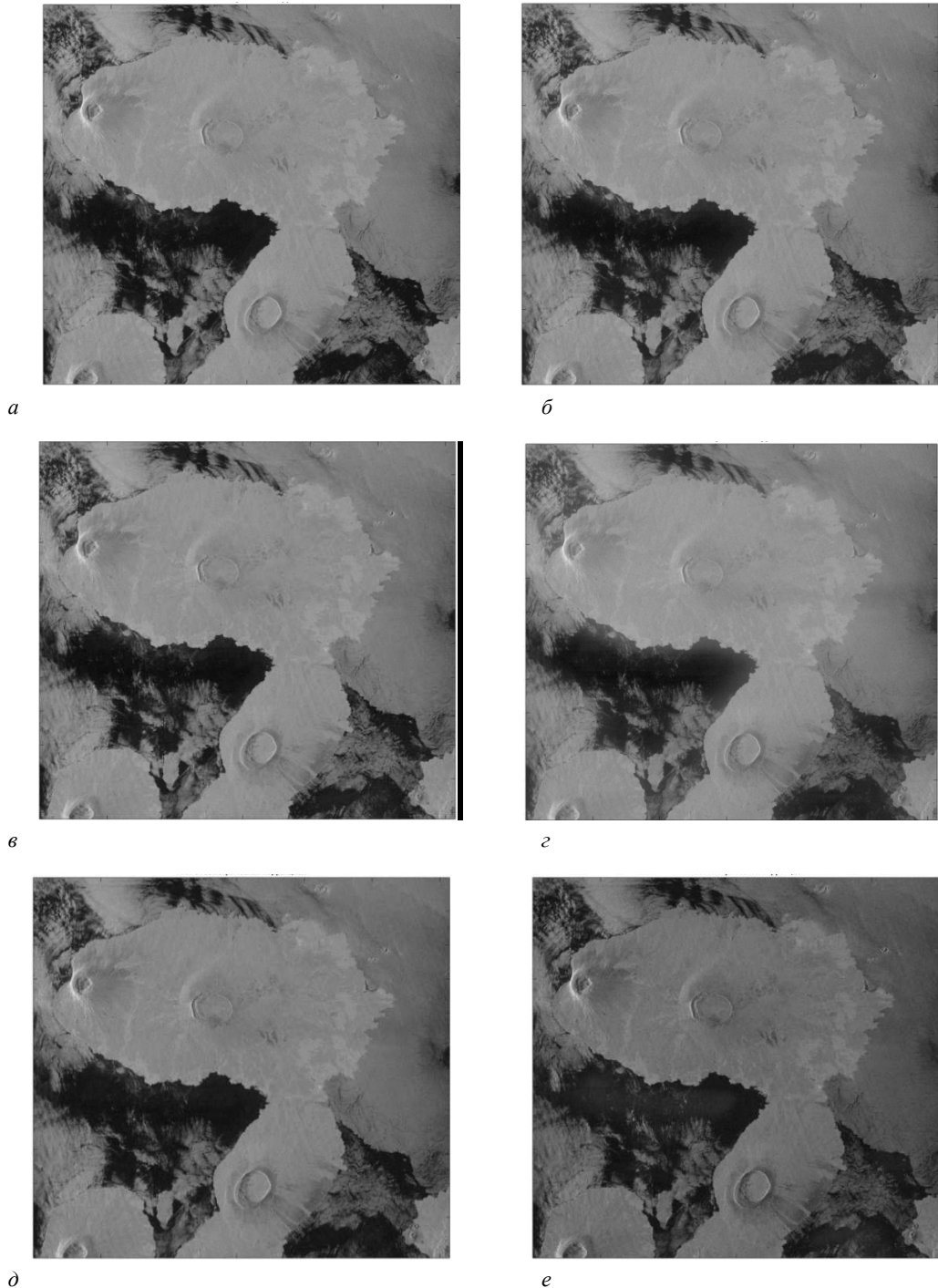
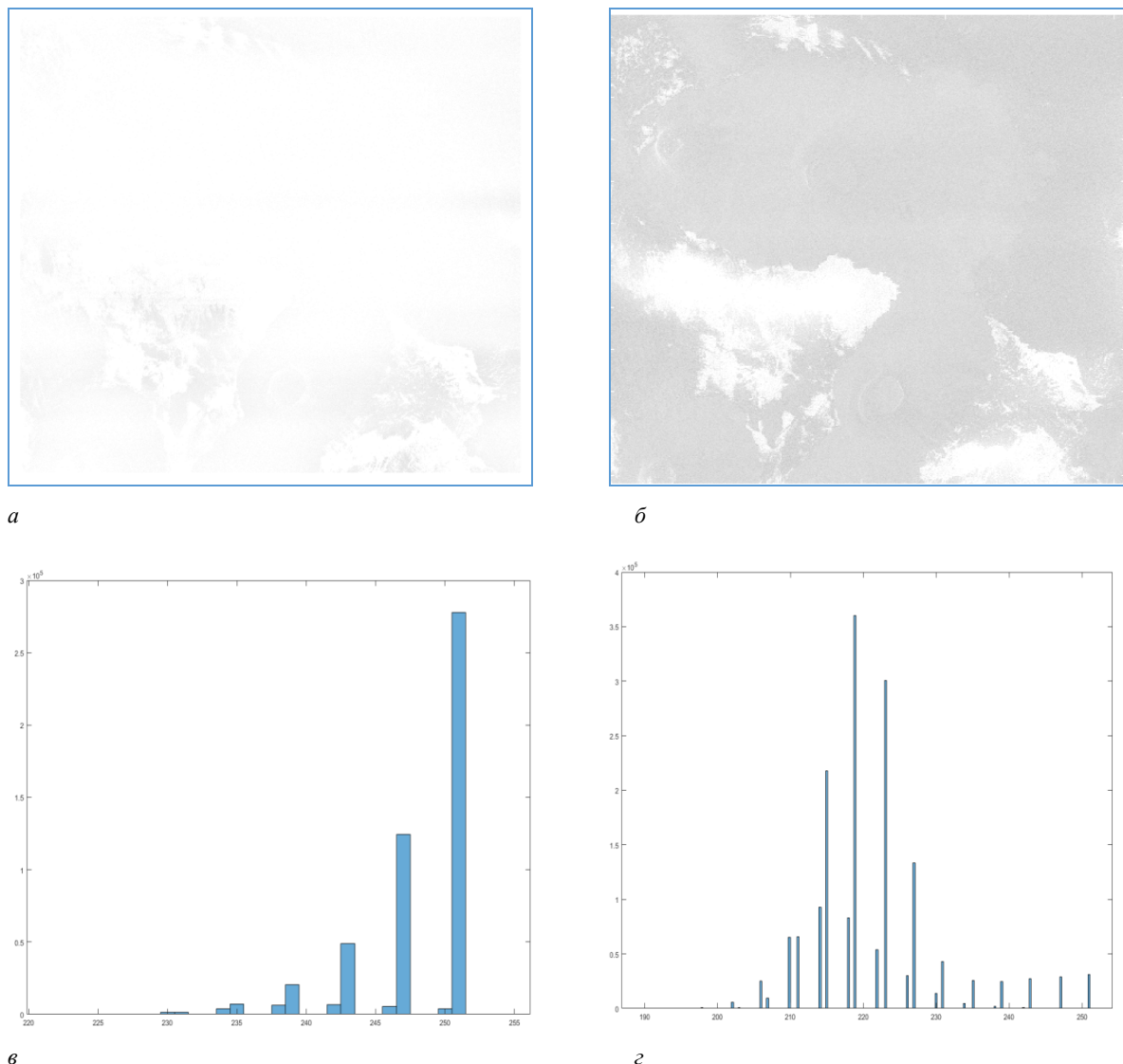


Рисунок 1. – Радиолокационные изображения PCA ERS-1:
a – без предварительной обработки; *б* – обработанное при разрядности квантователя $k = 5$;
в – обработанное при разрядности квантователя $k = 4$; *г* – обработанное при разрядности квантователя $k = 3$;
д – обработанное при разрядности квантователя $k = 4$ на основе уровней из [7];
е – обработанное при разрядности квантователя $k = 3$ на основе уровней из [7]

Для визуальной оценки изменений, вызванных квантованием, на рисунке 2 показаны негативные разностные изображения, которые были получены путем вычитания сфокусированного изображения без обработки из сфокусированных изображений со сжатием.



**Рисунок 2. – Негативные разностные изображения и их гистограммы для $k = 3$:
 а, в – при использовании рассчитанных уровней; б, г – при использовании уровней из [7]**

Для оценки качества работы квантователя может быть использовано отношение сигнал/шум (Signal To Quantization Noise Ratio – SQNR), которое вычисляется как [8]:

$$SQNR = 10 \lg \left(\frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} s_{ij}}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (s_{ij} - \tilde{s}_{ij})^2} \right),$$

где s_{ij} – уровень яркости пикселя необработанного изображения;

\tilde{s}_{ij} – уровень яркости пикселя восстановленного после сжатия изображения;

M – количество строк в матрице данных;

N – количество столбцов в матрице данных.

Для оценки схожести изображений может быть использовано значение корреляции для исходного и полученного после сжатия и восстановления данных изображений [11]:

$$COR = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (s_{ij} - \bar{s})(\tilde{s}_{ij} - \bar{\tilde{s}})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (s_{ij} - \bar{s})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (\tilde{s}_{ij} - \bar{\tilde{s}})^2}},$$

где $\bar{s} = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} s_{ij}$;

$$\bar{\tilde{s}} = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \tilde{s}_{ij} .$$

В таблице 3 приведены значения для рассчитанных уровней квантования и для уровней квантования представленных в [7].

Таблица 3. – Результаты экспериментов по оценке качественных характеристик сжатия

Разрядность квантователя	$SQNR_1$, дБ	$SQNR_2$, дБ	COR_1	COR_2
$k = 3$	16.4472	14.9621	0.9962	0.9851
$k = 4$	19.6901	20.0387	0.9980	0.9971
$k = 5$	21.5484	–	0.9994	–

Примечание. В индексе: 1 – для полученных уровней; 2 – для уровней из [7].

Анализ результатов моделирования показывает, что разработанный подход расчета уровней квантования и восстановления для адаптивного блочного квантования корректен и позволяет получать значения уровней практически для любой требуемой разрядности квантователя. Опираясь на данные таблицы 3, отметим, что существует возможность обеспечения улучшения качества восстановленных данных.

Заключение. Рассмотрена методика получения пороговых значений квантования и восстановления для алгоритма сжатия данных на основе блочного адаптивного квантования. Представлены результаты моделирования в пакете MatLab для сжатия комплексных данных PCA ERS-1 с использованием полученных уровней обработки для различной разрядности квантователя. Приведены сфокусированные изображения с геометрической коррекцией для сжатых данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров, И.М. Влияние сжатия данных на качество радиолокационных изображений / И.М. Нестеров // Журнал радиоэлектроники. – 2016. – № 8.
2. Коберниченко, В.Г. Радиоэлектронные системы дистанционного зондирования Земли : учеб. пособие / В.Г. Коберниченко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 220 с.
3. Benz, U.A Comparison of Several Algorithms for SAR Raw Data Compression / U. Benz, K. Strodl, A. Moreira // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. – 1995. – V. 33. – № 5. – P. 1266–1276.
4. Agrawal, N. SAR signal processing algorithms / N. Agrawal, K. Venugopalan // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. – Vol. 4. – № 9. – P. 40–45.
5. Peshkova, S. Analysis of Complex SAR RAW Data Compression [Electronic resource] / S. Peshkova, S. Vnotchenko // SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS). – Mode of access: http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?bibcode=2000ESASP.450D..19F&db_key=AST&page_ind=555&plate_select=NO&data_type=GIF&type=SCREEN_GIF&classic=YES. – Date of access: 14.01.19.
6. Моделирование алгоритма формирования радиолокационного изображения на основе представленных в формате CEOS необработанных данных дистанционного зондирования Земли / Р.П. Богуш [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2016. – № 12. – С. 13–21.
7. Technical Note: Envisat ASAR Data Decoding [Electronic resource]. – Mode of access: <https://earth.esa.int/documents/10174/1592412/ENVTEC145F.pdf>. – Date of access: 20.01.19.
8. Сэлмон, Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.

9. Пастухов, Д.Ф. Аппроксимация уравнения Пуассона на прямоугольнике повышенной точности / Д.Ф. Пастухов, Ю.Ф. Пастухов // Вестник Полоцкого университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2017. – № 12. – С. 62–77.
10. Пастухов, Ю.Ф. Тензор обобщенной энергии / Ю.Ф. Пастухов, Д.Ф. Пастухов, С.В. Чернов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2017. – № 12. – С. 78–100.
11. Мальцев, С.В. Обработка сигналов и изображений средствами векторно-матричных вычислений / С.В. Мальцев, С.В. Абламейко, Р.П. Богуш. – Новополоцк : ПГУ, 2011. – 212 с.

Поступила 12.03.2019

SIMULATION OF EARTH REMOTE SENSING DATA COMPRESSION BASED ON BLOCK ADAPTIVE QUANTIZATION

**R. BOHUSH, I. ZAKHARAVA, Y. PASTUHOV,
D. PASTUHOV, N. NAUMOVICH**

In order to compress data using the algorithm based on block adaptive quantization, a technique for obtaining threshold values and approximation errors for a different number of quantization levels is considered. The approach is based on using a system of nonlinear equations with respect to the coordinates of the angles of the step function, replacing the density of the normal distribution. As the initial data, the values of the reflected ERS-1 signal with In-phase and Quadrature phase components were used. The results of focusing with geometric correction of the data recovered after compression are presented. The main quality indicators of the quantizer are calculated.

Keywords: synthetic aperture radar, radar image, compression, block adaptive quantization.