

## Метод передачи изображений

Б.В.Костров, С.Г.Борисов, В.В.Упаков, А.Г.Упакова

*Рязанский государственный радиотехнический университет, Г.Рязань. ул.Гагарина, 59/1,  
[kostrov.b.v@evm.rsreu.ru](mailto:kostrov.b.v@evm.rsreu.ru)*

*Предложен и экспериментально исследован метод передачи изображений с восстановлением постоянной составляющей.*

*Proposed and experimentally investigated method of image transmission with restoration of the constant component*

Различные датчики сканирующего типа составляют основу съемочных платформ современных космических и атмосферных летательных аппаратов. Общей характерной чертой для изображений, создаваемых такими системами, является наличие в них средней яркости по полю снимка, зависящей, как правило, от условий съемки и изменений чувствительности датчиков. Наличие высокоэнергетических составляющих в получаемом сигнале приводит к большим энергетическим затратам на передачу изображений. Уменьшение энергетических затрат можно использовать для снижения мощности передатчика, повышения скорости передачи данных, существенного уменьшения размеров очень дорогих антенн, увеличения дальности связи, экономии полосы частот и улучшения большого количества других важных свойств систем передачи данных.

Для достижения этих целей целесообразно использовать спектральное представление изображения. Изображение по своей природе является двумерным пространственным сигналом, поэтому спектральный его образ также будет двумерным. Однако логика функционирования канала передачи данных такова, что передача изображения ведётся последовательно строка за строкой [1].

Для решения задач спектрального анализа изображений, представляющих собой дискретный сигнал, определенный на интервале  $N \times N$ , могут быть использованы любые системы, содержащие  $N$  ортогональных функций. Выбор системы функций будет определяться требованиями удобства вычислений и в конечном счете трудоемкостью алгоритмов реализации искомого преобразования. Наиболее общий подход к решению данной проблемы может быть найден при анализе систем функций Виленкина - Крестенсона (ВКФ). Любая система ВКФ может быть представлена в виде квадратной ортогональной матрицы размером  $N \times N$ . При этом ВКФ будут периодическими функциями с рациональным периодом, заданным в некоторой  $m$ -ичной системе счисления, интервалом существования которых будет являться интервал  $N = m^n$ , где  $m$  и  $n$  - целые числа [2].

В общем случае ВКФ являются комплексными функциями, определенными выражением [1]

$$VKF(p, x) = \prod_{i=0}^{n-1} w^{<p_i x_i>}, \quad (1)$$

где  $w = \exp[j(2\pi/m)]$ ,

$p_i$  и  $x_i$  значения коэффициентов в  $m$ -ичном представлении чисел  $p$  и  $x$ .

При  $m = 2$ ,  $w = \exp[j\pi] = -1$  и ВКФ совпадает с функциями Уолша

$$VKF(p, x) = (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} \langle p_i x_i \rangle} . \quad (2)$$

Спектральные коэффициенты спектрального представления изображения могут быть найдены в этом случае следующим образом

$$B(u, v) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} b(x, y) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle u_i y_i \rangle + \sum_{i=1}^n \langle v_i y_i \rangle} , \quad (3)$$

где  $u, v$  - переменные спектрального пространства,

$x, y$  - пространственные переменные,

$N_1, N_2$  - количество пикселей изображения по координатам  $x, y$ ,

$u_i, v_i, x_i, y_i$  - коэффициенты чисел  $u, v, x, y$  в  $m$ -ичном представлении,

$b(x, y)$  - элементы матрицы изображения

$$\mathbf{b}_{x,y} = \begin{bmatrix} b_{00} & b_{01} & \dots & b_{0N_2-1} \\ b_{10} & b_{11} & \dots & b_{1N_2-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{N_1-10} & b_{N_1-11} & \dots & b_{N_1-1N_2-1} \end{bmatrix} .$$

Разделим суммирование в выражении (3) по координатам  $x, y$  :

$$B(x, y) = \frac{1}{N_1} \sum_{x=0}^{N_1-1} b(x, y) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle u_i x_i \rangle} \frac{1}{N_2} \sum_{y=0}^{N_2-1} b(x, y) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle v_i y_i \rangle} . \quad (4)$$

Часть спектра, независящая от координаты  $u$  представляет собой спектр строк матрицы  $\mathbf{b}_{x,y}$ , который можно определить как

$$B(x, v) = \frac{1}{N_2} \sum_{y=0}^{N_2-1} b(x, y) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle v_i y_i \rangle} . \quad (5)$$

Матрица спектральных коэффициентов при этом будет иметь вид:

$$\mathbf{B}_{x,v} = \begin{bmatrix} B_{00} & B_{01} & \dots & B_{0N_2-1} \\ B_{10} & B_{11} & \dots & B_{1N_2-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{N_1-10} & B_{N_1-11} & \dots & B_{N_1-1N_2-1} \end{bmatrix} . \quad (6)$$

Такое представление можно назвать квазидвумерным спектральным представлением изображения  $\mathbf{b}_{x,y}$  [].

Применив обратное преобразование, можно вычислить элементы исходного изображения

$$b(x, y) = \frac{1}{N_2} \sum_{v=0}^{N_2-1} B(x, v) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle v_i y_i \rangle} = \frac{B_0}{N_2} + \frac{1}{N_2} \sum_{v=1}^{N_2} B(x, v-1) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle (v-1)_i y_i \rangle} , \quad (7)$$

где  $B_0 = B(x, 0) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle 0 y_i \rangle}$  - постоянные составляющие строк спектра.

Из выражения (7) следует, что

$$\frac{B_0}{N_2} = b(x, y) - \frac{1}{N_2} \sum_{v=1}^{N_2} B(x, v-1) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle (v-1)_i y_i \rangle} . \quad (8)$$

Если предположить, что мы знаем хотя бы одно конкретное значение элемента изображения в каждой строке, то нет необходимости передавать постоянную составляющую изображения через канал связи – её можно всегда восстановить. На практике в передаваемых изображениях всегда имеются «нулевые» столбцы в начале кадра, тогда  $b(x,0)=0$ , и для каждой строки

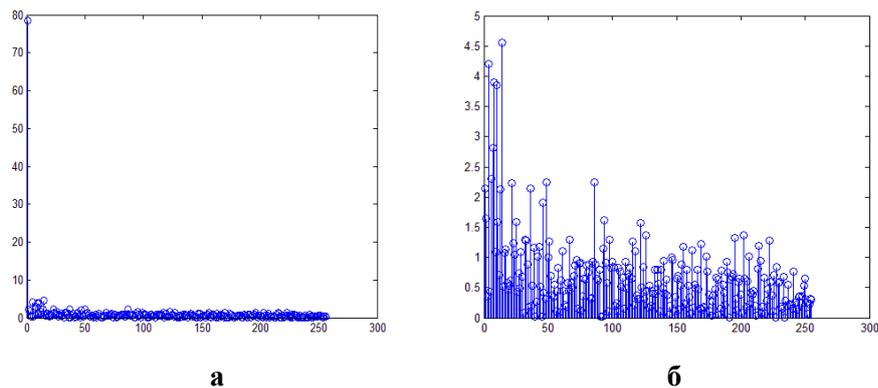
$$B_0 = - \sum_{v=1}^{N_2} B(x, v-1) (-1)^{\sum_{i=1}^n \langle (v-1)_i, y_i \rangle} . \quad (9)$$

Передаваемый спектр в этом случае может не иметь постоянной составляющей

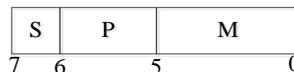
$$\mathbf{B}_{x,v} = \begin{bmatrix} 0 & B_{01} & \dots & B_{0N_2-1} \\ 0 & B_{11} & \dots & B_{1N_2-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & B_{N_1-11} & \dots & B_{N_1-1N_2-1} \end{bmatrix} . \quad (10)$$

Различия между спектрами изображения с постоянной составляющей и без нее можно оценить с помощью рис.1.

Во время передачи в таком виде спектра возникает проблема, связанная с передачей чисел в формате с плавающей точкой. Предлагается упаковать каждое число спектра в формат состоящий из 7 бит, представленный на рис. 2.

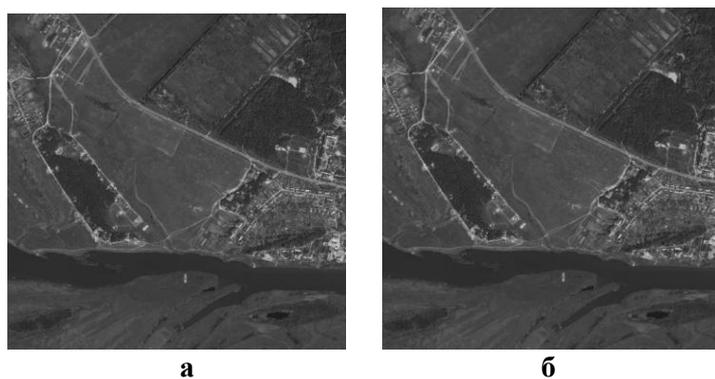


**Рис. 1. Спектр передаваемого изображения: а - спектр изображения с постоянной составляющей; б - спектр изображения без постоянной составляющей**



**Рис. 2. Упакованный формат числа**

Данный формат строится следующим образом. Изначально весь спектр БПС делится на 16. Поскольку мантисса занимает 6 бит, то максимальное число, которое можно записать 63, поэтому все числа превышающие данный формат делятся дополнительно на 32 и в бит Р записывается единица. Соответственно, в бит S записывается знак спектральной составляющей.



**Рис. 3. Исходное изображение и восстановленное изображение из упакованного спектра (СКО=0,012)**

После передачи упакованного спектра в наземный пункт обработки, предлагается распаковать его, путем выполнения обратных операций. Где в бите Р есть единица, те составляющие помножить на 32. После этой процедуры домножить весь спектр на 16. Данный метод упаковки формата позволяет уменьшить нагрузку на канал до 25%, при этом в качестве передачи изображение практически не теряет (рис.3).

При передаче изображений через канал связи абсолютно разрушительное действие на них оказывают групповые помехи[3,4,5]. При передаче спектра такая помеха примет вид:



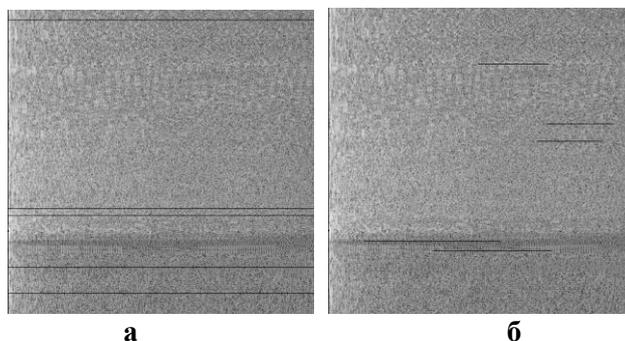
где  $G(u, x)$  - спектр с помехой,

$B(u, x)$  - спектр изображения без постоянной составляющей,

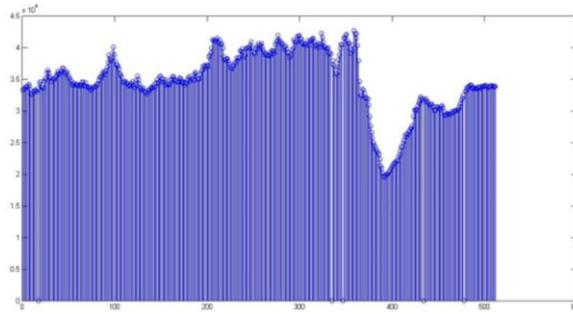
$R(u, v)$  - битовая маска помехи.

На рис.4. представлен пример искажения спектра передаваемого изображения. Алгоритм восстановления спектра состоит в выявлении по первым (низкочастотным) составляющим спектра мест локализации помех с последующим их устранением методом частотной фильтрации.

На рис. 5. приведены гистограммы первой составляющей спектра. При внимательном рассмотрении можно увидеть, что при попадании помехи в спектр, происходит спад постоянной составляющей. Соответственно, путем сравнения с соседними элементами можно определить составляющие спектра, которые подвержены помехе. Порог выбирается для всего спектра. По уже известным номерам строк строится битовая маска помехи.

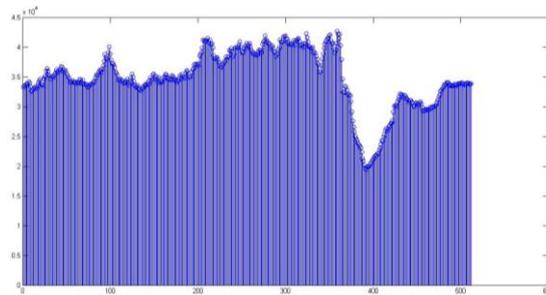


**Рис. 4. Спектр снимка с помехами: а — потеряны целые строки; б — потеряны часть строк**



**Рис.5. Первая составляющая спектра, искаженного помехой**

Производится интерполяция значений спектра в точках, принадлежащих помехе, по ближайшим неискаженным точкам спектра. Можно использовать любой известный метод интерполяции, в простейшем случае окончательная процедура восстановления определяется как среднее арифметическое между соседними значениями. Результат восстановления представлен на рис.6., а на рис.7. приведен результат восстановления исходного изображения на приемной стороне.



**Рис.6. Полностью восстановленная постоянная составляющая**



**а**

**б**

**Рис.7. Изображения, восстановленные на приемной стороне - а) потеряны целые строки СКО=0,93; б) потеряны часть строк СКО=0,39**

Данный метод позволяет передавать изображения в условиях наличия групповых помех (СКО от идеального изображения не превышает одной градации яркости) при снижении энергетической нагрузки на канал до 25 %. При уменьшении требований к точности восстановления изображений (СКО не более двух) нагрузка на канал может быть уменьшена до 37% и более.

### Литература

1. Б.В. Костров, А.С. Асаев, В.К. Злобин, Е.Р. Муратов. Спектральные методы обработки изображений // Вестник Рязанского Государственного Радиотехнического Университета (Вып. 21). Рязань, 2007. С. 3-8.
2. В.К. Злобин, Б.В. Костров, Теоретические и методологические аспекты применения системы функций Виленкина - Крестенсона для обработки изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. №3 (Вып. 45). Рязань, 2013. С. 14-19.
3. В.К. Злобин, Б.В. Костров, В.А. Саблина. Алгоритм секвентной фильтрации групповых помех на изображениях // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. №4 (Вып. 30). Рязань, 2009. С. 3-7
4. Костров Б.В., Костров В.В., Саблина В.А. Алгоритм восстановления изображений с периодическими низкочастотными искажениями//Радиотехника. № 11. 2009. С.92-95.
5. Костров Б.В., Некрасова О.С., Свирина А.Г. Метод квазидвумерной фильтрации групповых помех // Методы и средства обработки и хранения информации: межвуз. сб. науч. тр. – Рязань: РГРТУ, 2010. С. 144-147.