

УДК 004.021

*Е. В. Леонтьева, Е. В. Медведева*

## **МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ RGB-КОМПОНЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ АППЛИКАТИВНЫМИ ПОМЕХАМИ**

Предложен метод восстановления цветных изображений, искаженных аппликативными (импульсными) помехами, каждая из цветовых компонент которого представляет собой  $g$ -разрядное цифровое полутоновое изображение (ЦПИ). Предполагалось, что аппликативные искажения в различных цветовых каналах являются некоррелированными, а также характеристики искажений, вызванные воздействием таких помех, текстура, амплитуда – постоянными для каждого канала цветового изображения. Метод основан на представлении  $g$ -разрядных ЦПИ набором  $g$  разрядных двоичных изображений и применении вероятностного математического аппарата трехмерных цепей Маркова. Для повышения точности вычисления вероятностных характеристик для каждой локальной области изображения использовано скользящее окно. Для обнаружения искаженной области использовался метод, основанный на оценке границ и учета возможного диапазона яркости пикселей в искаженной области. Приведен алгоритм восстановления изображений, искаженных аппликативными помехами. Представлены результаты моделирования. Предложенный метод показывает хорошие результаты при восстановлении текстур и границ на изображении.

*Ключевые слова:* многокомпонентные изображения; многомерные цепи Маркова; аппликативные помехи.

Для современных видеосистем характерно использование многокомпонентных изображений. Многокомпонентные изображения в результате их формирования и передачи подвергаются воздействию помех, что затрудняет не только их восприятие человеком, но и обработку в автоматическом режиме. Как правило, возникающие на изображениях помехи носят аддитивный и импульсный характер. Импульсные помехи являются частным случаем

аппликативных помех, действие которых проявляется в затенение (замещение) отдельных участков полезного изображения фрагментами со случайной амплитудой, текстурой, формой [1].

Практически все известные методы восстановления изображений, искаженных аппликативными (импульсными) помехами, на первом этапе реализуют процедуру различия полезных сигналов и помех, а на втором – восстановление каким-либо методом потерянных элементов изображения. В настоящее время разработано множество разнообразных алгоритмов восстановления изображений, искаженных аппликативными помехами [2, 3, 6]. Однако лишь незначительная часть этих алгоритмов учитывает свойства межкомпонентной избыточности.

Частным случаем многокомпонентных изображений можно считать цветные RGB изображения, каждая из цветовых компонент которого представляет собой  $s$ -разрядное цифровое полутоновое изображение (ЦПИ). Известно, что отдельные области ЦПИ коррелируют между собой в разных цветовых каналах, т. е. совпадают по положению контуров и текстур, в то время, как помехи на цветном изображении являются некоррелированными между цветовыми каналами. Поэтому представляет интерес использование свойства межканальной избыточности для решения задачи восстановления изображений, искаженных аппликативными помехами.

Учитывая характер статистической связи между элементами внутри ЦПИ и между элементами цветовых компонент (RG, GB, BR), в данной работе предлагается для восстановления искаженной области использовать математическую модель на основе трехмерной цепи Маркова с несколькими состояниями.

Таким образом, целью данной работы является разработка метода восстановления многокомпонентных изображений, искаженных аппликативными помехами, на основе применения математического аппарата трехмерных цепей Маркова.

Будем полагать, что аппликативные искажения в различных цветовых каналах являются некоррелированными, а также характеристики искажений, вызванные воздействием таких помех, текстура, амплитуда – постоянными для каждого канала цветового изображения.

Для повышения вычислительной эффективности математической модели в работах [4,5] предложено  $g$ -разрядное ЦПИ представлять набором  $g$  разрядных двоичных изображений (РДИ).

Если  $l$ -е РДИ ( $l = \overline{1, g}$ ) цветовых компонент представляет собой марковское случайное поле с разделимой автокорреляционной функцией, то в этом случае  $l$ -е РДИ цветовых компонент можно представить суперпозицией трех одномерных цепей Маркова по горизонтали, вертикали и между компонентами с двумя равновероятными значениями  $M_1^{(l)}$ ,  $M_2^{(l)}$  и матрицами вероятностей переходов по горизонтали  ${}^1\Pi^{(l)} = \left\| {}^1\pi_{ij}^{(l)} \right\|_{2 \times 2}$ , вертикали  ${}^2\Pi^{(l)} = \left\| {}^2\pi_{ij}^{(l)} \right\|_{2 \times 2}$  и между цветовыми компонентами (RG, GB, BR).  ${}^4\Pi^{(l)} = \left\| {}^4\pi_{ij}^{(l)} \right\|_{2 \times 2}$

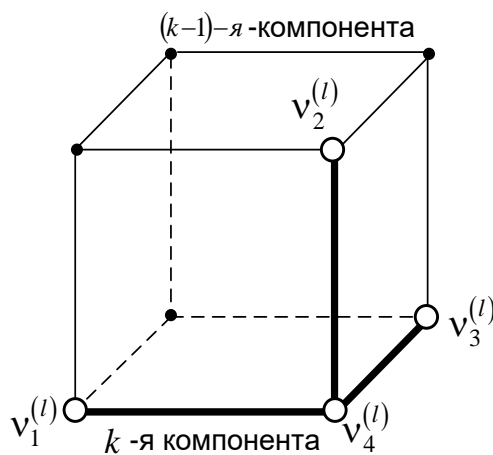


Рис. 1. Фрагмент РДИ двух цветовых компонент

На рис. 1 приведен фрагмент РДИ двух цветовых компонент, на котором элемент изображения  $v_4^{(l)}$  зависит от состояний окрестных элементов  $\Lambda_{i,j,k}^{(l)} = \{v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_3^{(l)}\}$ , расположенных в  $k$ -й и  $(k-1)$ -й компонентах.

Для вычисления вероятностей состояний двоичных элементов в РДИ цветовых компонент применен энтропийный подход, в соответствии с которым количество информации в элементе  $v_4^{(l)}$  относительно элементов ближайшей окрестности  $\Lambda_{i,j,k}^{(l)}$  определится по формуле [4]:

$$I(v_4^{(l)} | v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_3^{(l)}) = -\log \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} \cdot {}^2\pi_{ij}^{(l)} \cdot {}^4\pi_{ij}^{(l)} \cdot {}^7\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ij}^{(l)} \cdot {}^5\pi_{ij}^{(l)} \cdot {}^6\pi_{ij}^{(l)}}, \quad (1)$$

где  ${}^r\pi_{ij}^{(l)} (r = \overline{1,7}; i, j = \overline{1,2})$  – элементы матриц вероятностей переходов в одномерных цепях Маркова с двумя состояниями по горизонтали  ${}^1\Pi^{(l)}$ , вертикали  ${}^2\Pi^{(l)}$ , между цветовыми компонентами  ${}^4\Pi^{(l)}$  и четырех сопутствующих матриц вероятностей переходов:

$${}^3\Pi^{(l)} = {}^1\Pi^{(l)} \times {}^2\Pi^{(l)}; {}^5\Pi^{(l)} = {}^1\Pi^{(l)} \times {}^4\Pi^{(l)}; {}^6\Pi^{(l)} = {}^2\Pi^{(l)} \times {}^4\Pi^{(l)}; {}^7\Pi^{(l)} = {}^3\Pi^{(l)} \times {}^4\Pi^{(l)}. \quad (2)$$

Для восстановления искаженных участков предлагается выполнить оценку вероятностей переходов  ${}^r\hat{\pi}_{ii}^{(l)}$  для области, граничащей с поврежденным участком, в пределах скользящего окна [5]. Размер окна задается исходя из заданной точности оценки. В соответствии с аргументом выражения (1) и состояниями элементов окрестности  $\Lambda_{i,j,k}^{(l)}$  вычисляется оценка  $\hat{\pi}_{iii}^{(l)}$  вероятностей переходов в трехмерных цепях Маркова.

Усредняя оценки  $\hat{\pi}_{iii}^{(l)}$  вероятностей переходов в пределах окна, вычисляется оценка  $\tilde{\pi}_{iii}^{(l)}$  средней вероятности перехода для элемента, соответствующего центральному элементу окна:

$$\tilde{\pi}_{iii}^{(l,r,k)} = \frac{1}{m \times n} \sum_{r=1}^m \sum_{k=1}^n \hat{\pi}_{iii}^{(l,r,k)}. \quad (3)$$

На каждом последующем шаге окно перемещается на один элемент (слева направо, сверху вниз) и вычисляется оценка средней вероятности перехода для следующего элемента.

Задача различия искаженной области и информативной части изображения может решаться разными методами [3,7]. В данной работе предполагалось, что в пределах искаженной области яркости пикселей существенно не различаются и имеют отличное значение от информативной части изображения. Поэтому для обнаружения искаженной области использовался метод [4], основанный на

оценке границ и учета возможного диапазона яркости пикселей в искаженной области.

Восстановление искаженных участков осуществляется генерированием элементов изображения по окрестным элементам с использованием оценок вероятностей переходов, вычисленных по области, окружающей искаженный участок.

Алгоритм восстановления RGB-компонентных изображений, искаженных аппликативными помехами, включает в себя следующие этапы.

1. RGB-изображения, содержащие некоррелированные искажения для каждого цветового канала, представляют в виде трех цветовых компонент, каждая из которых является ЦПИ.

2. ЦПИ представляют набором РДИ.

3. Определяют координаты искаженной области на одном из РДИ, на основе на оценки границ и учета возможного диапазона яркости пикселей в искаженной области [6].

4. Задаются размерами скользящего окна.

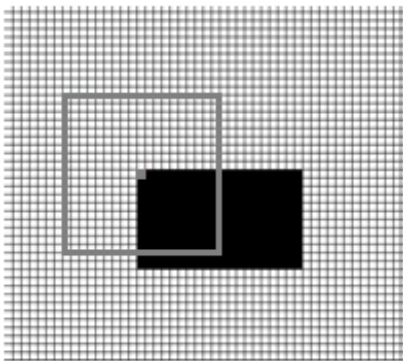


Рис. 2. Искаженная область и скользящее окно

5. Вычисляют оценки элементов матриц вероятностей переходов по горизонтали  ${}^1\hat{\Pi}^{(l)}$ , вертикали  ${}^2\hat{\Pi}^{(l)}$  и между цветовыми компонентами  ${}^4\hat{\Pi}^{(l)}$  в пределах окна, исключая искаженную область (рис. 2).

6. На основе вычисленных оценок элементов матриц вероятностей переходов  ${}^1\hat{\Pi}^{(l)}, {}^2\hat{\Pi}^{(l)}, {}^4\hat{\Pi}^{(l)}$ , определяют оценки элементов дополнительных матриц  ${}^3\hat{\Pi}^{(l)}, {}^5\hat{\Pi}^{(l)}, {}^6\hat{\Pi}^{(l)}, {}^7\hat{\Pi}^{(l)}$ .

7. По известным матрицам  ${}^r\Pi^{(l)}$  ( $r=\overline{1,7}$ ) вычисляются оценки  $\hat{\pi}_{iii}^{(l)}$ , соответствующих состояниям элементов окрестности.

8. Вычисляется усредненная оценка  $\hat{\pi}_{iii}^{(l,r,k)}$  (3) и сравнивается с выбранным случайным числом  $\xi$ , равномерно распределённом на интервале  $[0,1]$ . Если число  $\xi \leq \hat{\pi}_{iii}^{(l)}$ , то элемент изображения  $v_4^{(l)}$  принимает значение ноль, иначе  $v_4^{(l)} = 1$ .

9. Окно перемещается на один шаг, вычисляются оценки элементов матриц вероятностей переходов, учитывая восстановленные элементы на предыдущих итерациях, и восстанавливается следующий элемент изображения.

Исследование разработанного алгоритма выполнялось на цветных RGB-изображениях. На одной из трех цветовых компонент RGB-изображения формировались прямоугольные искаженные участки различных размеров.



б) R-компонента

в) G-компонента

г) B-компонента

Рис. 3. RGB-изображение с искаженным участком

На рис. 4 приведен пример восстановленного РДИ при наличии коррелированных областей в  $k$ -й и  $(k-1)$ -й цветовых компонентах, а на рис. 5 – при отсутствии корреляции. На рис. 4 и 5 показаны РДИ  $l$ -х разрядов: (а) –  $(k-1)$ -й неискаженной цветовой компоненты, (б) –  $k$ -й цветовой компоненты, содержащей искаженный участок в форме прямоугольника размером  $15 \times 25$  пкс, (в) – восстановленный участок  $k$ -й компоненты.

## Технические науки

а) РДИ ( $k-1$ )-й компонентыб) искаженное РДИ  
 $k$ -й компонентыв) восстановленное РДИ  
 $k$ -й компонентыРис. 4. Пример восстановления РДИ 6-го разряда ( ${}^4\pi_{ii}^{(l)} = 0,99$ )а) РДИ ( $k-1$ )-й компонентыб) искаженное РДИ  
 $k$ -й компонентыв) восстановленное РДИ  $k$ -  
й компонентыРис. 5. Пример восстановления РДИ 5-го разряда ( ${}^4\pi_{ii}^{(l)} = 0,11$ )

На рис. 6 показан пример восстановления искаженного участка, содержащего границу, а на рис. 7 – содержащего текстуру. Рис. 6,7 содержат: (а) – цветовая компонента RGB-изображения, (б) – с искаженным участком размером 15x25 пкс., (в) – выделенный искаженный участок, (г) – восстановленное изображение.

## Технические науки

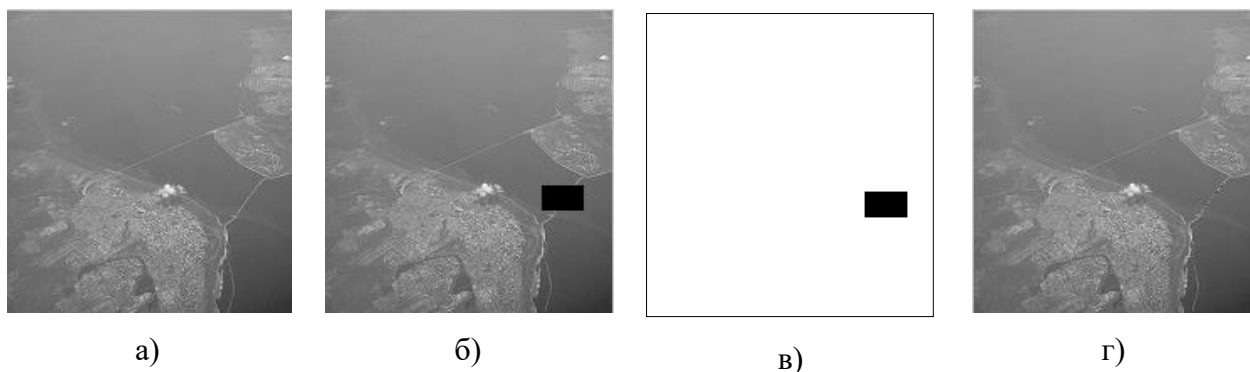


Рис. 6. Восстановление цветного изображения (СКО = 0,01%)

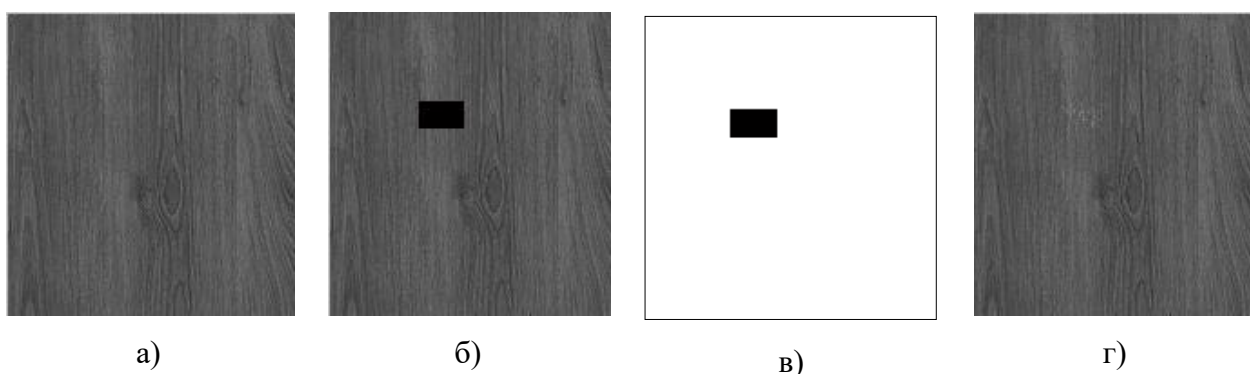


Рис. 7. Восстановление цветного изображения (СКО = 0,12%)

В таблице 1 приведены значения среднеквадратичной ошибки (СКО) для восстановленных изображений в зависимости от различных размеров искаженных областей, где:

$$СКО = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_i - y_j)^2, \quad (3)$$

где  $x_i, y_j$  – элементы исходного и восстановленного ЦПИ  $k$ -й компоненты;  $M, N$  – размеры искаженной области.

Таблица 1

## Значения СКО восстановленных изображений

Фрагмент изображения, содержащий:	Размер искаженной области		
	10x10	20x20	30x30
границы	0,043	0,059	0,195
текстуру	0,035	0,049	0,128



плавное изменение яркости	0,003	0,013	0,029
---------------------------	-------	-------	-------

Из приведенных результатов видно, что предложенный метод показывает хорошие результаты даже при восстановлении текстур и границ на изображении. Использование трехмерной математической модели и скользящего окна позволяет восстановить искаженный участок размером до 30x30 пикселей с СКО менее 0,2 %. Предложенный метод позволяет выделить и восстановить искаженные участки любых форм. Метод также может быть применен для восстановления видеопоследовательности, искаженной аппликативными (импульсными) помехами.

### Список литературы

1. Калинин П. В., Сирота А. А. Моделирование аппликативных искажений с различной степенью прозрачности и случайной формой // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 1. С. 28–33.
2. Леонтьева Е. В. Метод восстановления многокомпонентных изображений, искаженных аппликативными помехами / Е. В. Леонтьева, Е. В. Медведева // Всероссийская ежегодная НТК «Общество, наука, инновации»: сб. материалов. Киров, 2016. С. 2540–2546.
3. Марчук В. И. Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач / под ред. В. И. Марчука. М.: Радиотехника, 2012. 128 с.
4. Medvedeva E. V. A Two-stage image preprocessing algorithm / E. V. Medvedeva, E. E. Kurbatova // Pattern Recognition and Image Analysis. 2011. Vol. 21. № 2. P. 297–301.
5. Петров Е. П. Метод синтеза математических моделей видеоизображений на основе многомерных цепей Маркова / Е. П. Петров, Е. В. Медведева, А. П. Метелев // Нелинейный мир. 2011. № 4. С. 213–231.
6. Самойлин Е. А. Метод межканальной градиентной реконструкции искаженных сигналов цветных цифровых изображений / Е. А. Самойлин, В. В. Шипко // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 3. С. 13–16.
7. Самойлин Е. А. Метод различия случайных сигналов многокомпонентных изображений и импульсных помех на основе свойства межканальной избыточности / Е. А. Самойлин, В. В. Шипко // Цифровая обработка сигналов. 2014. № 3. С. 2–9.

**ЛЕОНТЬЕВА Евгения Васильевна** – студент, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [ewg.leo@yandex.ru](mailto:ewg.leo@yandex.ru)

**МЕДВЕДЕВА Елена Викторовна** – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных средств, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [medvedeva@vyatsu.ru](mailto:medvedeva@vyatsu.ru)