

ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИМПУЛЬСНЫМИ ПОМЕХАМИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ

Упакова А.Г.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» Рязань, Россия (390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1), upakova.a@gmail.com

В статье рассмотрена задача обработки изображений с импульсными помехами. Данные помехи возникают при неустойчивом канале связи между летательным или космическим аппаратом, где расположены датчики и устройства первичной обработки сигналов, и наземным пунктом обработки, где и происходит конечная обработка сигналов. Решение этой задачи производится на основе теории сигналов на конечных интервалах. В данной статье рассматриваются методы частотной фильтрации, основанные на преобразовании Уолша. Метод квазидвумерной фильтрации основан на применении преобразования Уолша к строкам или столбцам изображения. В статье приведен сравнительный анализ решения этой задачи между пространственными методами обработки изображения и частотными. Для оценки качества восстановленного изображения используется среднеквадратическая ошибка, в настоящее время она является наиболее популярной и распространенной метрикой.

Ключевые слова: преобразование Уолша, импульсные помехи, квазидвумерная фильтрация

QUASI IMAGE PROCESSING IMPULSE NOISE BASED ON THE THEORY OF SIGNALS ON A FINITE INTERVAL

Upakova A.G.¹

¹Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Ryazan State Radio Engineering University" Ryazan, Russia (390005, Ryazan, ul. Gagarin, 59/1), upakova.a@gmail.com

The article considers the problem of processing images with impulse noise. These problems were caused by unsustainable communication channel between the aircraft or spacecraft, where the sensors and devices for primary processing of signals and ground processing station, where it is the ultimate signal processing. The solution to this problem is based on the theory of signals over finite intervals. This article discusses the methods of frequency filtering, based on the conversion Walsh. A quasi filtering method based on the use of Walsh to the rows or columns of the image. The paper presents a comparative analysis of solutions of this problem between the spatial image processing methods and frequency. To assess the quality of the reconstructed image using the standard error, it is currently the most popular and common metric.

Keywords: Walsh transform, impulse noise filtering quasi

Введение

Изображения, полученные при дистанционном зондировании поверхности Земли, формируются на борту летательного или космического аппарата, где расположены датчики и устройства первичной обработки сигналов. После сформированные данные передаются на наземный пункт обработки, где и происходит их конечная обработка. При неустойчивом канале связи возникает биполярный импульсный шум. Пример изображения, искаженного данной помехой, приведен на рисунке 1. Присутствие таких помех крайне затрудняет анализ изображений, а также ставит под вопросом дальнейшее использование изображения как источника информации. Поэтому важно устранить все импульсные помехи, с наименьшими потерями качества [5, 2].



Рисунок 1 – Изображение, искаженное импульсным биполярным шумом

Будем считать, что изображение является двумерной матрицей размерностью $M \times N$. А яркость каждой точки будет лежать в диапазоне $[0, 255]$. Тогда

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Из вышесказанного следует, что если значение в точке $f(i, j) = 0$, то это соответствует черному шуму, а $f(i, j) = 255$ – белому. Тогда импульсную помеху можно описать в виде выражения:

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & \text{при } R(x, y) = 0, \\ b, & \text{при } R(x, y) = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где $R(x, y)$ описывает область локализации помехи, b – значение помехи в данной локализации, принимающее только два значения 0 или 255.

На основе анализа литературы можно выделить два подхода к фильтрации импульсных помех [1]:

- алгоритмы фильтрации, построенные на основе пространственной фильтрации;
- алгоритмы фильтрации, построенные на основе частотной фильтрации (с использованием Вельвет преобразования).

Первая группа алгоритмов наиболее подробно изложена в литературе [1]. Данные алгоритмы основаны на применении операций, предполагающих преобразование пикселей окрестности изображения с использованием некоторой специальной матрицы. Ту матрицу

называют фильтром, ядром, маской, шаблоном и т.д. Значения элементов матрицы принято называть коэффициентами. Как уже отмечалось в [2], наиболее эффективным методом при устранении данного шума является применение к изображению с помехой медианного фильтра размерностью 3x3 (рисунок 2):

$$\hat{f}(x, y) = \underset{k=1, n}{\text{med}} \{g(x, y, k)\}, \quad (3)$$

где $\hat{f}(x, y)$ – обработанное изображение, $g(x, y, k)$ – маска фильтра размерностью 3x3 пикселя.



Рисунок 2 – Применение медианного фильтра. а) исходное изображение, б) отфильтрованное изображение (СКО=8,08)

В данной статье рассматриваются методы частотной фильтрации, основанные на преобразовании Уолша. Метод квазидвумерной фильтрации основан на применении преобразования Уолша к строкам или столбцам изображения. Дискретное квазидвумерное преобразование Уолша имеет вид [3, 5]:

$$F(u, y) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} f(i, y) \text{wal}_{(u, y)} \left(\frac{i}{M}, y \right), \quad (4)$$

где $F(u, v)$ – спектральное представление изображения.

Квазидвумерный спектр изображения представлен на рисунке 3. Применим теорему об ограничении нетригонометрического спектра:

$$b_i^{[N, 1]} = \frac{1}{S} \sum_{g=1}^S b_g, \quad (5)$$

где $S = 2^{k-1}$, $N_s = \frac{N}{S}$, $i, j = \overline{1, N}$.

и дискретное обратное преобразование Уолша

$$\hat{f}(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} F(u, y) \text{wal}_{(x,y)}\left(\frac{u}{M}, y\right), \quad (6)$$

где $\hat{f}(x, y)$ – «усечённое» изображение (рисунок 4).

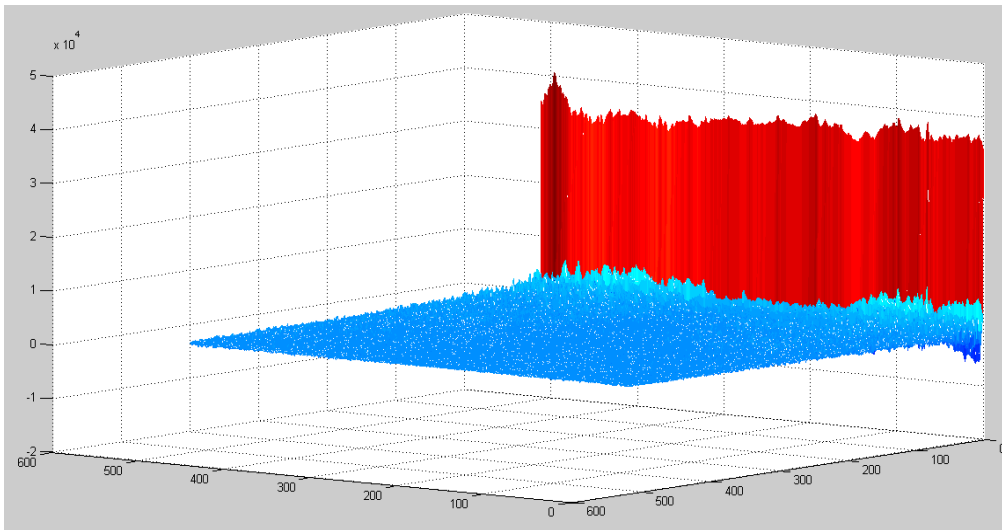


Рисунок 3 – Квазидвумерный спектр изображения



Рисунок 4 – «Усеченное» изображение

Если применить формулу медианной фильтрации к полученному изображению:

$$\hat{f}(x, y) = \text{med}_{k=1, n} \{g(x, y, k)\} \quad (7)$$

и вычесть полученное изображение из изображения с импульсными помехами:

$$\mathbf{M} = \mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}} \quad (8)$$

где \mathbf{f} – матрица изображения, $\hat{\mathbf{f}}$ – матрица нового изображения, \mathbf{M} – маска импульсных помех.

Далее алгоритм можно идти 2мя путями:

- используя значения данной маски применить формулу

$$\mathbf{b} = \mathbf{f} + \mathbf{M} \quad (9)$$

где \mathbf{b} – изображение без помех

- зная координаты помех, рассчитать среднюю яркость в выбитом пикселе:

$$b(i, j) = \frac{f(i, j) + f(i-1, j) + f(i+1, j) + \dots + f(i+1, j+1)}{8} \quad (10)$$

Метод двумерной фильтрации основан на применении преобразования Уолша и к строкам и к столбцам изображения:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} f(i, j) wal_{(u, v)} \left(\frac{i}{M}, \frac{j}{N} \right) \quad (11)$$

Применив теорему об ограничении нетригонометрического спектра:

$$b_{ij}^{[N_s]} = \frac{1}{S^2} \sum_{p=1}^S \sum_{g=1}^S b_{gp}, \quad (12)$$

где $S = 2^{k-1}$, $N_s = \frac{N}{S}$, $i, j = \overline{1, N}$.

и дискретное обратное преобразование Уолша

$$\hat{f}(x, y) = \sum_{v=0}^N \sum_{u=0}^{M-1} F(u, v) wal_{(x, y)} \left(\frac{u}{M}, \frac{v}{N} \right), \quad (6)$$

Далее алгоритм работает по уже описанным шагам.

При сравнении похожих изображений первым встает вопрос: что считать мерой схожести изображений? Очевидно, что это величина имеет значение обратное различию изображений друг от друга. Следственно, нужно выбрать некую метрику, характеризующую различие изображений друг от друга. Тогда схожими изображениями будут считаться изображения, отличие между которыми меньше некоторого порога. В настоящее время наиболее популярными и распространенными метриками, используемыми для оценки качества восстановленных изображений, является среднеквадратическая ошибка (СКО). СКО можно вычислить по формуле [4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (\hat{f}(x, y) - f(x, y))^2}.$$

Анализ данных, приведенный в таблице 1, показывает, что предложенный алгоритм восстанавливает изображение на порядок лучше.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики

% выбитых пикселей от изображения	СКО (простр)	СКО (двум.)	СКО (квазидв.)
0.01	8,29	2,11	1,58
0.02	8,32	2,89	2,36
0.04	8,44	4,12	3,32

0.005	8,25	1,48	1,02
-------	------	------	------

Список литературы

1. Злобин В.К., Костров Б.В. Теоретические и методологические аспекты применения системы функций Виленкина — Крестенсона для обработки изображений // Вестник Рязанского государственного радиоуниверситета. - № 3 (Вып. 45). – Рязань, 2013. – С. 12-17.
2. Костров Б.В. Особенности формирования аэрокосмических изображений радиотехническими средствами. // Проектирование и технология электронных средств. – 2011. - №1. – С. 41-43
3. Костров Б.В., Асаев А.С., В.К. Злобин, Е.Р. Муратов. Спектральные методы обработки изображений // Вестник Рязанского Государственного Радиотехнического Университета (Вып. 21). Рязань, 2007. – С. 3-8.
4. Костров Б.В., Злобин В.К., Саблина В.А Алгоритм секвентной фильтрации групповых помех на изображении // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - №4 (Вып. 30). – Рязань, 2009. – С. 3-7.
5. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. – М.: Сов. радио, 1975. – 208 с.

Рецензенты:

Ручкин В.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры Информатика и вычислительная техника, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», г. Рязань.

Овечкин Г.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань.