

## **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

УДК: 004.932: 519.64

### **ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ШУМА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**А. И. Новиков**, д.т.н., доцент, профессор кафедры ВМ РГРТУ, Рязань, Россия,  
orcid.org/0000-0002-8166-8234, e-mail: novikovanatoly@yandex.ru

**В. А. Овчинников**, студент РГРТУ, Рязань, Россия,  
orcid.org/0009-0006-6728-2745, e-mail: busingson@yandex.ru

*Цель работы – разработка и экспериментальная проверка полностью автоматического итерационного алгоритма фильтрации периодического шума цифрового изображения на основе двумерного дискретного преобразования Фурье (ДПФ). В основе алгоритма лежит идея последовательного уточнения геометрии и размеров областей в окрестности точек локальных экстремумов амплитудного спектра, отвечающих частотам периодического шума. Оценка дисперсии амплитудного спектра с корректно «вырезанными» частотными коэффициентами должна быть близка к дисперсии амплитудного спектра изображения, свободного от периодического шума. Это свойство спектров положено в основу критерия останова итерационного процесса. Проведены исследования результатов фильтрации периодического шума в виде горизонтальных, вертикальных, диагональных полос на изображении и их комбинаций.*

**Ключевые слова:** периодический шум, дискретное преобразование Фурье, амплитудный спектр, итерационный алгоритм, частотный прямоугольник, оценка дисперсии.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2023-84-166-175

#### **Введение**

В электронном ресурсе [1] систематизированы типы периодических шумов в виде серых, белых или черных полос на изображении, возникающих в системах видеонаблюдения, и указаны причины их возникновения. Они могут возникать, во-первых, из-за источников питания с частотой гармоники 50 Гц. Проявляются такие помехи на экране в виде горизонтальных полос серого цвета. Во-вторых, синхронные помехи, поступающие от блоков питания и устройств, обрабатывающих сигнал в сети, проявляются на экране в виде узких полос попеременно светлого и темного тонов. В-третьих, радиопомехи, генерируемые мощными импульсными источниками питания, отображаются в виде быстро бегущих по диагонали косых линий. В-четвертых, смесь высокочастотных, синхронных и синусоидальных помех. Такой набор помех приводит к появлению на экране комплекса искажений.

Некоторые из перечисленных помех можно устранить с помощью соответствующих технических решений. Например, правильно сделанное заземление может убрать синусоидальные помехи источников питания. Однако технические способы борьбы с помехами не всегда приводят к желаемому результату. В этом случае приходится использовать цифровые методы обработки изображений, позволяющие устранять периодические шумы и улучшать изображение.

В основе методов фильтрации периодического шума лежит идея трансформации коэффициентов прямого двумерного ДПФ таким образом, чтобы исключались определенные компоненты частотной области, соответствующие периодическим составляющим сигнала. После такой трансформации выполняется обратное ДПФ.

Пусть  $\mathbf{I} = (I_{mn})$ ,  $m = \overline{0, M-1}$ ,  $n = \overline{0, N-1}$  – матрица яркостей полутонового изображения размером  $M \times N$ . Первый шаг любого алгоритма, основанного на переходе из пространственной области в частотную, заключается в выполнении прямого двумерного ДПФ изображения  $\mathbf{F} = (F_{ks})$  [2-4].

$$F_{ks} = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I_{mn} e^{-i2\pi \left( \frac{km}{M} + \frac{sn}{N} \right)}, \quad k = \overline{0, M-1}, \quad s = \overline{0, N-1}. \quad (1)$$

Здесь  $\mathbf{F} = (F_{ks})$ ,  $k = \overline{0, M-1}$ ,  $s = \overline{0, N-1}$  – матрица коэффициентов прямого ДПФ, имеет такой же размер, что и исходное изображение. При этом  $F_{ks} = \text{Re}(F_{ks}) + i \text{Im}(F_{ks})$  – комплексное число, если даже входной сигнал является действительным. В коэффициентах  $F_{ks}$  содержится информация о вкладе соответствующей частотной составляющей в исходный сигнал. Числовой оценкой этого вклада на каждой частоте являются значения амплитудного спектра

$$\text{Amp}_{ks} = \left( (\text{Re}(F_{ks}))^2 + (\text{Im}(F_{ks}))^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad k = \overline{0, M-1}, \quad s = \overline{0, N-1}. \quad (2)$$

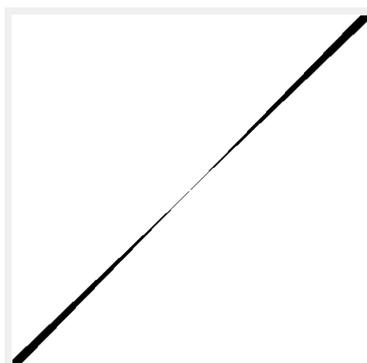
Периодическим составляющим в составе исходного изображения  $\mathbf{I} = (I_{mn})$  отвечают локальные максимумы в составе амплитудного спектра.

Задача фильтрации периодических помех заключается в поиске локальных экстремумов на множестве значений матрицы  $\mathbf{A} = (\text{Amp}_{ks})$  размера  $M \times N$  с последующим удалением из состава спектра соответствующих частотных компонент, отвечающих периодическим составляющим. В окрестности каждого локального экстремума нужно выделить (локализовать) области, в каждой точке которой коэффициенты  $\text{Re}(F_{st})$  и  $\text{Im}(F_{st})$  полагаются равными нулю. После такого преобразования элементов матрицы коэффициентов  $F_{ks}$  прямого ДПФ и матрицы  $\mathbf{A} = (\text{Amp}_{ks})$  амплитудного спектра выполняются обратное ДПФ по формуле (3)

$$I_{mn} = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{s=0}^{N-1} F_{ks} e^{i2\pi \left( \frac{km}{M} + \frac{sn}{N} \right)}, \quad m = \overline{0, M-1}, \quad n = \overline{0, N-1}. \quad (3)$$

Выполнение вычислений по формулам (1) – (3) является рутинной задачей, доведенной до совершенства. Проблемой является корректная локализация областей в окрестности точек локальных экстремумов амплитудного спектра  $\mathbf{A} = (\text{Amp}_{ks})$ . Известны примеры построения режекторных фильтров, но, как правило, при участии оператора [4]. Известны программы в MATLAB, реализующие процесс фильтрации периодического шума, основанные на построении секторальных масок (рисунок 1), с помощью которых удаляются определенные частотные полосы.

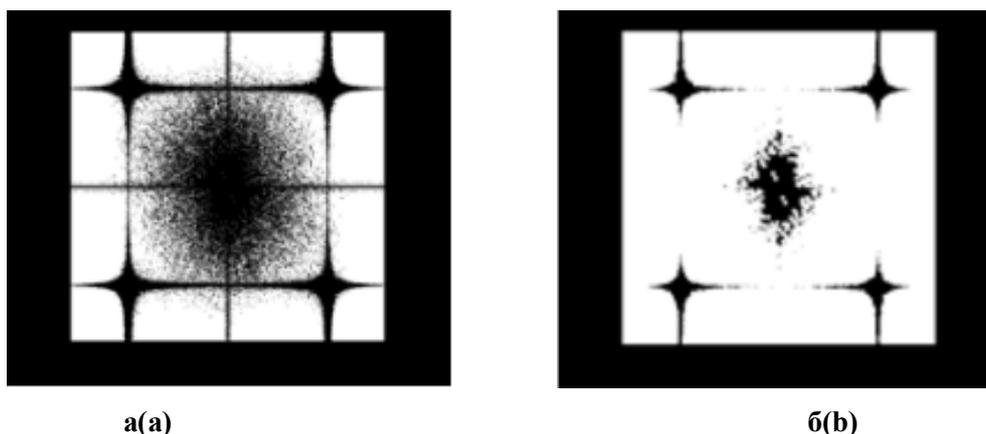
Недостатки такого подхода заключаются в необходимости участия оператора на этапе формирования секторальных масок и в удалении не только коэффициентов прямого ДПФ, отвечающих периодической компоненте, но и важных низкочастотных коэффициентов. При наложении такой маски на матрицу с коэффициентами прямого ДПФ обнуляются все коэффициенты, попавшие в зону действия маски.



**Рисунок 1 – Диагональная секторальная маска**  
**Figure 1 – Diagonal sector mask**

### Теоретические исследования Известные методы

Построение полностью автоматических методов фильтрации периодического шума привлекло в последние годы внимание многих исследователей в различных странах [5-8]. В [5] (Индия) для локализации областей локальных максимумов амплитудного спектра предлагается использовать алгоритм кластеризации с двумя случайно выбранными центроидами. Далее, к полученному изображению амплитудного спектра (рисунок 2, а) применяется операция дилатации для создания более четкой границы между «основной» частотой и компонентами шума (рисунок 2, б) (рисунки 2, а и 2, б заимствованы из работы [5]).



**Рисунок 2 – Амплитудный спектр:**  
 а – после этапа кластеризации; б – после применения дилатации  
**Figure 2 – Amplitude spectrum:**  
 а – after the clustering stage; б – after the application of dilation.

Центральная часть полученного в результате такой обработки амплитудного спектра (рисунок 2, б) «удаляется», поскольку она соответствует частотам полезной части изображения. Полученная в итоге маска применяется для устранения компонент периодического шума.

В работе турецких исследователей [6] координаты локальных максимумов амплитудного спектра – «шумовых пиков», по выражению авторов работы, – ищутся прямым перебором в результате сравнений значений амплитудного спектра. Координаты других «парных» пиков находятся из условия симметрии. Новым в работе данных авторов является построение маски для подавления шумовых частот в виде двух эллиптических 2D-фильтров, расположенных перпендикулярно друг к другу. Такая форма фильтра обусловлена тем, что ортогональная проекция значений амплитудного спектра на плоскость частотного прямоугольника выглядит как «звезда» (рисунок 2). На самом деле изображение экстремальной области пика имеет более сложную форму. На рисунке 3 приведен фрагмент графика амплитудного спектра, содержащего экстремальные значения в увеличенном масштабе.

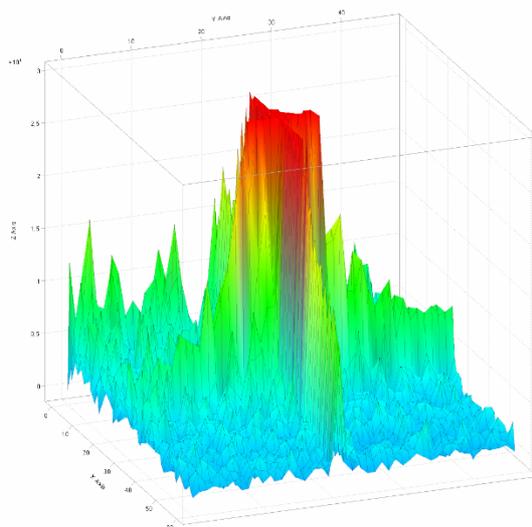


Рисунок 3 – Фрагмент графика амплитудного спектра  
Figure 3 – Fragment of amplitude spectrum graph

Как утверждают авторы работ [5, 6], предложенные ими методы обеспечивают высокое качество восстановленного изображения. Это подтверждается значением показателя PSNR близости двух изображений ( $I_{ij}^{(1)}$ ) и ( $I_{ij}^{(2)}$ ), например, зашумленного и восстановленного, как в нашем случае

$$PSNR = 20 \cdot \lg \left( \frac{Max(I)}{\sigma} \right), \quad (4)$$

где

$$\sigma = \left( \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_{ij}^{(1)} - I_{ij}^{(2)})^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Приведенные в статье [5] значения метрики PSNR в серии экспериментов принадлежат промежутку [18; 36], а в статье [5] – промежутку [14; 23], что считается, по мнению авторов названных работ, неплохим результатом.

Следующий метод предложен сотрудниками университета Лотарингии и университета Блеза Паскаля [7] (Франция). Авторы предлагают автоматизированный способ формирования режекторного фильтра для удаления периодических и псевдопериодических шумов. Авторы исходят из того, что ожидаемый спектр мощности можно смоделировать с помощью функции, которая уменьшается пропорционально некоторой положительной степени частоты. Такая функция должна соответствовать средней мощности спектра, за исключением некоторых всплесков, которые связаны с шумом, и потому могут быть обнаружены как статистические выбросы. Метод реализован программно в среде MATLAB. Затраты машинного времени на обработку зашумленного изображения размером 600x600 составляют по данным авторов работы [7] 0,4 секунды, что является неплохим результатом для алгоритмов, основанных на применении ДПФ.

Можно отметить еще ряд работ зарубежных авторов по проблеме фильтрации периодического шума, например [8, 9].

Авторы работ [10, 11] (Россия, РГРТУ) проблему автоматической локализации областей в окрестности точек локальных экстремумов решили с помощью детектора границ с последующим применением морфологических операций дилатации и эрозии. Преимущество предложенного метода перед другими методами, описанными выше, заключается в том, что он может успешно работать в условиях псевдопериодических шумов, для которых характерно более сложное расположение локальных максимумов амплитудного спектра в рамках частотного прямоугольника.

Для программно-алгоритмических комплексов, предназначенных для работы в системах технического зрения реального времени, исключительно важной является оценка их вычислительной сложности. В [12] предложен метод, использующий, наверное, минимальное число вычислительных операций из всех известных методов. В нем выполняется прямое ДПФ, вычисляется амплитудный спектр, выполняется его дилатация и вычисляется среднее значение амплитудного спектра  $\overline{Amp}_D$  (после процедуры дилатации). Затем вычисляются среднее значение  $\overline{F}$  коэффициентов прямого ДПФ, среднее значение  $\overline{I}$  входного зашумленного изображения и выполняется трансформация коэффициентов ( $F_{ks}$ ) прямого ДПФ по правилу

$$F_{ks} = \begin{cases} F_{ks}, & \text{если } Amp_{ks} < \gamma \cdot \overline{Amp}_D, \\ \overline{F}, & \text{если } Amp_{ks} \geq \gamma \cdot \overline{Amp}_D. \end{cases}$$

Здесь  $\gamma = 3\sqrt{255 - \overline{I}}$  – экспериментально подобранный коэффициент. После этого формируется восстановленное изображение в результате выполнения обратного ДПФ. Достаточно очевидно, что этот алгоритм, претендуя на роль самого быстрого, не является оптимальным в смысле качества подавления периодической шумовой составляющей.

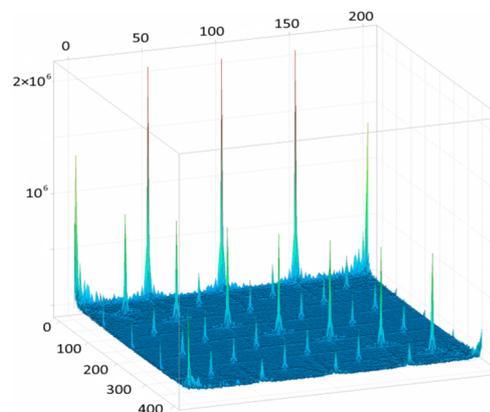
### Предлагаемый алгоритм

Все перечисленные выше методы не ставили задачу оптимизации результата фильтрации периодического шума с позиций полноты удаления шумовой составляющей, с одной стороны, и сохранения важных частотных коэффициентов, с другой стороны. Достаточно очевидно, что при корректном восстановлении изображения с периодическим шумом с помощью любого дееспособного алгоритма дисперсия амплитудного спектра восстановленного изображения должна быть приблизительно равна дисперсии изображения без периодического шума, т.е.  $D[(\hat{Amp}_{mn})] \cong D[(Amp_{mn})]$ . Об этом говорят и наблюдения за изменением дисперсий амплитудного спектра  $D[(Amp_{ks})]$  незашумленного изображения ( $I_{mn}$ ), изображения с наложенным периодическим шумом ( $I_{mn} + p_{mn}$ ) и изображения ( $\hat{I}_{mn}$ ), восстановленного в результате фильтрации периодического шума.

С геометрической точки зрения схема предлагаемого итерационного алгоритма выглядит следующим образом. Амплитудный спектр изображения, искаженного периодическим шумом, содержит определенное количество шумовых пиков, амплитуды которых в сотни и тысячи раз больше амплитуд частот, отвечающих основной низкочастотной (плавной) части изображения. В качестве примера на рисунке 4, а приведено изображение с наложенным на него комбинированным периодическим шумом в виде горизонтальных и наклонных белых полос, а на рисунке 4, б – отвечающее ему 3D-изображение амплитудного спектра.



а (a)



б (b)

Рисунок 4 – Изображение с наложенным шумом (а), отвечающий ему амплитудный спектр (б)  
Figure 4 – Image with superimposed noise (a), corresponding amplitude spectrum (b)

Предлагается последовательно отсекаать, двигаясь сверху вниз, части шумовых пиков до достижения (по оси  $Oz$ ) фоновых значений амплитудного спектра. При этом первую секущую плоскость  $\pi_0 : z = z_0$  и шаг, с которым строятся новые плоскости  $\pi_i : z = z_i, i = 1, 2, \dots$ , нужно выбрать так, чтобы искомый результат достигался за минимальное число шагов. Изложим алгоритм итерационного процесса по шагам.

1. Применяем прямое ДПФ к изображению с периодическим шумом, вычисляем амплитудный спектр  $A_0$ , его среднее значение  $\bar{A}_0$  и оценку среднеквадратического отклонения  $\sigma_0$  амплитудного спектра за исключением центральной части спектра, соответствующей низким частотам.

2. Вычисляем начальное значение порога  $\delta_0 = \bar{A}_0 + \alpha_0 \sigma_0$ , где  $\alpha_0$  – начальное значение параметра  $\alpha_0$ , значение которого устанавливается один раз оператором (в экспериментах  $\alpha_0 = 20$ ).

3. В цикле по  $i, i = 1, 2, \dots$  вычисляем:

$$3.1. \alpha_i = \alpha_i - (i-1) \cdot \tau \quad (\text{в экспериментах } \tau = 0,3),$$

$$3.2. \Delta_i = \bar{A}_i + \alpha_i \hat{D}_i,$$

$$3.3. F_{ks} = \begin{cases} F_{ks}, & \text{если } A_{ks} < \Delta, \\ 0, & \text{если } A_{ks} \geq \Delta. \end{cases}$$

3.4. Выполняем обратное ДПФ и вычисляем среднее значение  $\bar{A}_i$ , оценку СКО  $\sigma_i$  и новое значение порога  $\delta_i = \bar{A}_i + \alpha_i \sigma_i$  амплитудного спектра изображения, восстановленного на  $i$ -м шаге.

4. Начиная с номера  $i = 2$  проверяем выполнение неравенства  $|\sigma_i - \sigma_{i-1}| < \varepsilon$ , ( $\varepsilon = \frac{\sigma_0}{200}$ ).

Если это неравенство выполняется для некоторого  $i^*$ , то искомым изображением будет изображение  $I_{mn}^*$ , восстановленное на  $i^*$ -м шаге. В противном случае переходим к пункту 3.

### Экспериментальные исследования

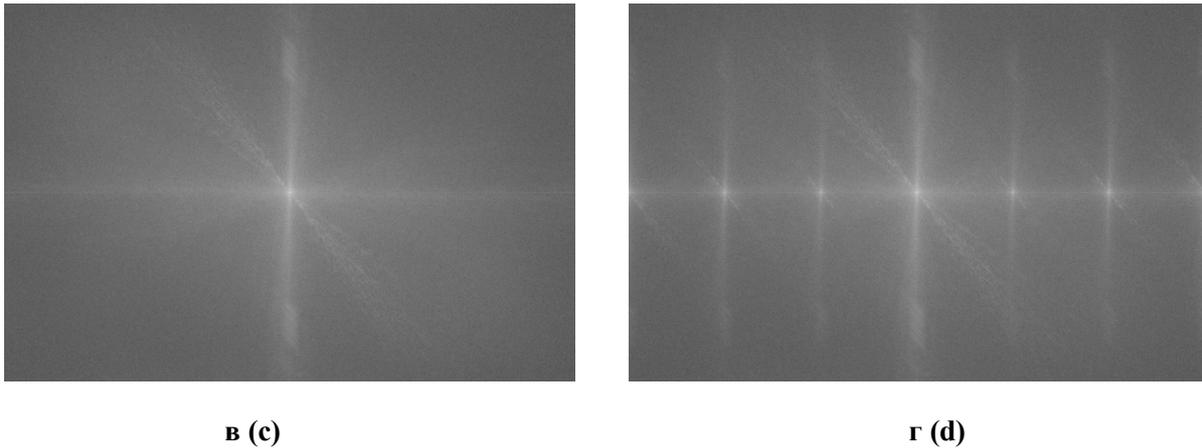
На рисунке 5, а представлено исходное изображение автомобильного потока, на рисунке 5, б – то же изображение, но с наложенным периодическим шумом. Размер изображения – 1920x1080 пикселей. По вертикали через каждые 6 пикселей добавлены сплошные полосы толщиной 1 пиксель, а по горизонтали – синусоидальные полосы по закону  $I_{mn} = I_{mn} + 40 \sin(0,25m\pi)$ . На рисунках 5, в и 5, г приведены центрированные амплитудные спектры данных изображений. Значения амплитуд логарифмированы и нормированы в диапазоне  $[0; 255]$ . Для вычисления прямого и обратного ДПФ использовалась библиотека FFTW, реализующая быстрое преобразование Фурье.



а (a)



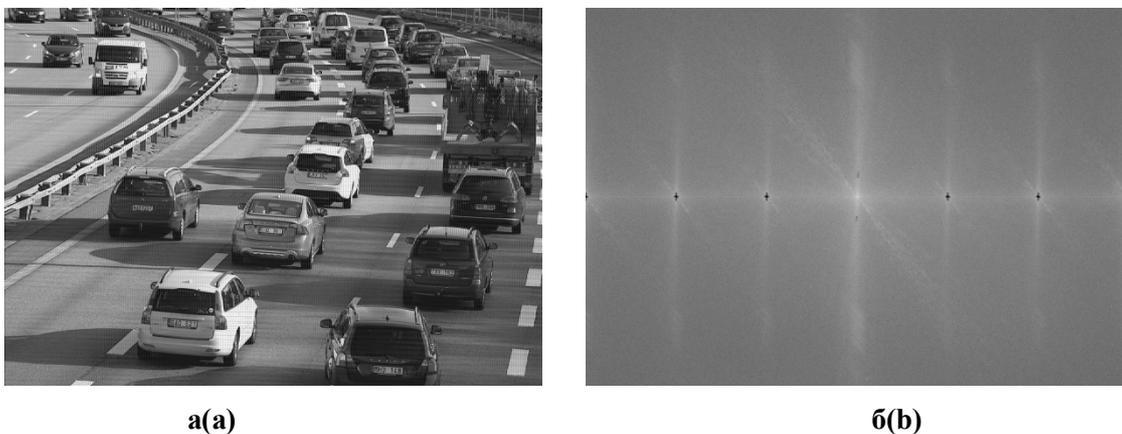
б (b)



**Рисунок 5 – Исходное изображение (а), отвечающий ему амплитудный спектр (в); зашумленное изображение (б), отвечающий ему амплитудный спектр (г)**  
**Figure 5 – Original image (a), corresponding amplitude spectrum (c); noisy image (b), corresponding amplitude spectrum (d)**

Применим предложенный итерационный алгоритм фильтрации. Восстановленное изображение и его амплитудный спектр представлены, соответственно на рисунках 6, а и 6, б.

Согласно идее алгоритма, дисперсия и как следствие, среднеквадратическое отклонение (СКО) амплитудных спектров исходного (эталонного)  $\sigma_{исх}$  и отфильтрованного изображения  $\sigma_{восст}$  должны совпадать. В данном примере  $\sigma_{исх} = 34201,5$ . После наложения шума на изображение СКО спектра возрастает более, чем в 3 раза, и становится равным  $\sigma_{шум} = 100310,0$ . По мере применения алгоритма СКО постепенно снижается, и уже через 4 итерации составляет  $\sigma_{восст} = 35514,7$ . Относительная погрешность  $\delta = \frac{|\sigma_{исх} - \sigma_{восст}|}{\sigma_{исх}}$  для данного изображения составила 3,8 %.



**Рисунок 6 – Восстановленное изображение (а), отвечающий ему амплитудный спектр (б)**  
**Figure 6 – Denoised image (a), corresponding amplitude spectrum (b)**

Введём количественные оценки качества восстановления: будем рассчитывать среднеквадратическое отклонение (RMSE) как

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N (I_{mn}^{(исх)} - I_{mn}^{(восст)})^2}{M \times N}},$$

а также пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR) по формуле (4) между исходным и восстановленным изображениями.

Все перечисленные параметры, а также время выполнения алгоритма, отразим в таблице 1. Вычисления проводились на компьютере с процессором Intel Core i5-10500H, ОЗУ 16 Гб. Как

известно, при удалении («обнулении») частот амплитудного спектра, после применения обратного дискретного преобразования Фурье изображение теряет контрастность. На данный момент восстановление контрастности происходит вручную путём вычитания из изображения некоторой константы  $c = 10 \div 40$ . Экспериментально замечено, что оптимальное значение  $c$  зависит от интенсивности накладываемого шума, количества и характера полос, а также числа обнуляемых коэффициентов в накладываемой на Фурье-образ изображения маске.

На изображении амплитудного спектра изображения после фильтрации (рисунок 6, б) можно явно пронаблюдать, как были детектированы и обнулены экстремальные значения, соответствующие вертикальным сплошным полосам (ряд горизонтальных точек) и синусоидальным полосам (небольшие точки сверху и снизу от центрального пика, отвечающего низкочастотной составляющей изображения).

Таблица 1 – Результаты выполнения алгоритма для рисунка 6, б

Table 1 – Results of algorithm execution for Figure 6, b

Изображение, размер	$\sigma_{\text{исх}}$	$\sigma_{\text{шум}}$	$\sigma_{\text{восст}}$	Оценка качества восстановления	Число итераций	Время, с
Автомобили, 1920x1080	34201.5	100310,0	35514,7	$\sigma = 23,207$	4	0,1895
				PSNR = 20,818		

Рассмотрим следующий пример: возьмём изображение аэропорта и наложим на него горизонтальные полосы с частотой каждые 5 пикселей и диагональный шум с шириной между полосами 8 пикселей (рисунок 7, а). На рисунке 7, б представлено отфильтрованное изображение с восстановлением контрастности. Рассмотрим амплитудные спектры этих изображений на 3D-графиках (рисунки 7, в и 7, г). Коэффициенты амплитудных спектров в центральной части, соответствующие низким частотам, для удобства и наглядности обнулены, поскольку их абсолютные значения очень велики.

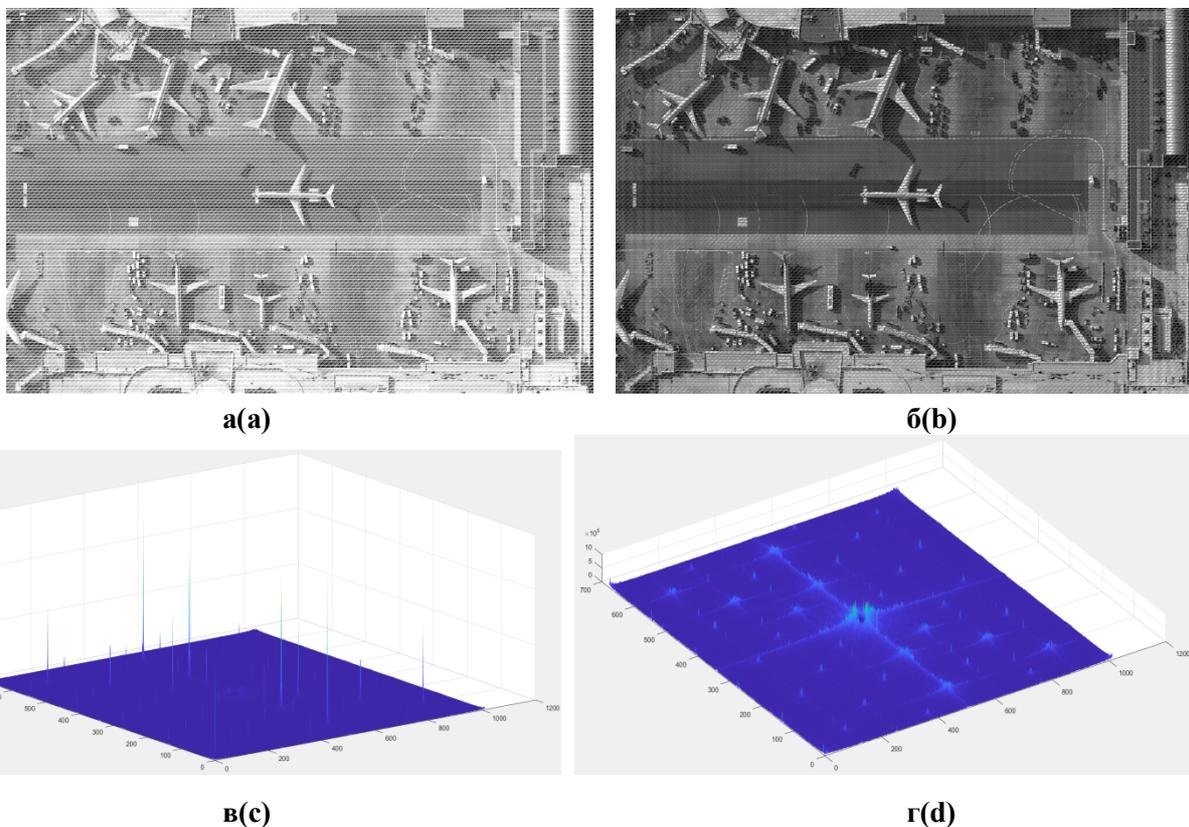


Рисунок 7 – Зашумленное изображение (а), восстановленное изображение (б); отвечающие им амплитудные спектры (в), (г)  
Figure 7 – Noised image (a), denoised image (b); corresponding amplitude spectra (c), (d)

На графике спектра зашумленного изображения (рисунок 7, в) экстремумы, соответствующие высокочастотным шумам, имеют абсолютные значения, превышающие  $10^7$ . После проведения 5 итераций алгоритма их амплитуды уменьшились на 2-3 порядка и стали лишь незначительно превышать фон изображения. Полные результаты отражены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты выполнения алгоритма для рисунков 7, б**

**Table 2 – Results of algorithm execution for Figure 7, b**

Изображение, размер	$\sigma_{\text{исх}}$	$\sigma_{\text{шум}}$	$\sigma_{\text{восст}}$	Оценка качества восстановления	Число итераций	Время, с
Аэропорт, 1014x678	19500.3	54435.2	20221.0	$\sigma = 34.219$	5	0.0776
				PSNR = 17.446		

### Заключение

Приведен краткий обзор известных методов фильтрации периодического шума. Отмечено многообразие предложенных подходов к локализации областей в окрестности точек экстремума амплитудного спектра. Сформулирована задача построения квазиоптимального алгоритма фильтрации периодического шума. Предложен критерий оптимальности восстановления изображения, искаженного периодическим шумом и итерационный алгоритм, реализующий этот критерий.

Выполнена апробация предложенного алгоритма на изображениях с наложенным периодическим шумом в виде горизонтальных, вертикальных, диагональных белых полос и их различных комбинаций. Подтверждены заявленные характеристики алгоритма фильтрации периодического шума.

### Библиографический список

1. Causes of interference and how to get rid of them [Электронный ресурс: [kachestvolife.club>umnyj-dom/videonablyudenie...](http://kachestvolife.club/umnyj-dom/videonablyudenie...)].
2. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов / Лаборатория компьютерной графики МГУ, 2007. 54 с.
3. Воропаева Н. В., Новиков С. Я., Федина М. Е. Дискретное преобразование Фурье в обработке сигналов. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2015. 48 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Технофера. 2006. 616 с.
5. Souradeep Dutta, Arijit Mallick, Sourya Roy, Utkarsh Kumar. Periodic Noise Recognition and Elimination Using RFPCM Clustering // 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems. DOI: 10.1109/ECS.2014.689263.
6. Seniha Ketenci, Ali Gangal. Automatic reduction of Periodic Noise in Images using adaptive Gaussian Star Filter // Turkish Journal of Electrical & Computer Sciences. 2017 25: 2336-2348. Doi: 10.3906/elk-1506-78.
7. Frederic Sur, Michel Grediac. Automated removal of quasiperiodic noise using frequency domain statistics // Journal of Electronic Imaging, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, 2015, 24 (1), pp. 013003/1-19.
8. Aizenberg I., Butakoff C. A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal // Image Vis. Computer. 2008, 26(10). – Pp 1347–1353.
9. Coulange B, Moisan L. An aliasing detection algorithm based on suspicious colocalizations of Fourier coefficients // IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2010, Hong Kong, pp. 2013-2016.
10. Новиков А. И., Пронькин А. В., Шамин Н. О. Частотный метод фильтрации периодических помех цифровых изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2021. № 78. С. 130-141. DOI: 10.21667/1995-4565-2021-78-130-141.
11. Novikov A., Pronkin A., Vityazev S. Edge Detector Application in the Problem of Periodic Interference Filtering // 2022 24<sup>th</sup> International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA), pp. 1-6. DOI: 10.1109/DSPA533040.2022.9790763.
12. Новиков А. И., Шамин Н. О. Алгоритм автоматического устранения периодического шума на изображениях // Межвузовский сборник научных трудов «Методы и средства обработки и хранения информации». Под редакцией Кострова Б. В. Рязань, 2022. С. 58-63.

UDC: 004.932: 519.64

## ITERATIVE ALGORITHM FOR FILTERING PERIODIC NOISE OF DIGITAL IMAGES

**A. I. Novikov**, Dr. Sc. (Tech.), associate professor Department of higher mathematics RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0002-8166-8234, e-mail: novikovanatoly@yandex.ru

**V. A. Ovchinnikov**, student, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0006-6728-2745, e-mail: busingson@yandex.ru

*The aim of the work is to develop and experimentally test a fully automatic iterative algorithm for filtering periodic noise of a digital image based on two-dimensional discrete Fourier transform (DFT). The algorithm is based on the idea of sequential refinement of geometry and sizes of regions in the vicinity of local extremes points of amplitude spectrum corresponding to periodic noise frequencies. The estimation of amplitude spectrum dispersion with correctly «cut out» frequency coefficients should be close to amplitude spectrum dispersion of the image free from periodic noise. This property of the spectra is the basis for the criterion to stop iterative process. Studies of the results of filtering periodic noise in the form of horizontal, vertical, diagonal stripes on the image and their combinations have been carried out.*

**Key words:** periodic noise, discrete Fourier transform, amplitude spectrum, iterative algorithm, frequency rectangle, variance estimation.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2023-84-166-175

### References

1. *Causes of interference and how to get rid of them* [Electronic resource: kachestvolife.club>umnyj-dom/videonablyudenie...].
2. **Lukin A.** *Vvedenie v cifrovuyu obrabotku signalov / Laboratoriya komp'yuternoj grafiki* (Introduction to digital signal processing). Computer Graphics Laboratory of Moscow State University, 2007. 54 p. (in Russian).
3. **Voropaeva N. V., Novikov S. Ya., Fedina M. E.** *Diskretnoe preobrazovanie Fur'e v obrabotke signalov* (Discrete Fourier transform in signal processing). Samara: Publishing house «Samara University», 2015. 48 p. (in Russian).
4. **Gonzalez R., Woods R. Eddins S.** *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v srede MATLAB* (Digital image processing in the MATLAB environment). Moscow: Technosphere. 2006. 616 p. (in Russian).
5. **Souradeep Dutta, Arijit Mallick, Sourya Roy, Utkarsh Kumar.** Periodic Noise Recognition and Elimination Using RFBM Clustering. *2014 International Conference on Electronics and Communication Systems*. DOI: 10.1109/ECS.2014.689263.
6. **Seniha Ketenci, Ali Gangal.** Automatic reduction of Periodic Noise in Images using adaptive Gaussian Star Filter. *Turkish Journal of Electrical & Computer Sciences*. 2017 25: 2336-2348. DOI: 10.3906/elk-1506-78.
7. **Frederic Sur, Michel Grediac.** Automated removal of quasiperiodic noise using frequency domain statistics. *Journal of Electronic Imaging, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers*, 2015, 24 (1), pp. 013003/1-19.
8. **Aizenberg I., Butakoff C.** A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal. *Image Vis. Computer*. 2008, 26(10). Pp 1347-1353.
9. **Coulange B, Moisan L.** An aliasing detection algorithm based on suspicious colocalizations of Fourier coefficients. *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2010, Hong Kong, pp. 2013-2016.
10. **Novikov A. I., Pronkin A. V., Shamin N. O.** Chastotnyj metod fil'tracii periodicheskikh pomekh cifrovyyh izobrazhenij. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2021, no. 78, pp. 130-141. DOI: 10.21667/1995-4565-2021-78-130-141.
11. **Novikov A., Pronkin A., Vityazev S.** Edge Detector Application in the Problem of Periodic Interference Filtering. *2022 24<sup>th</sup> International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA)*, pp. 1-6. DOI: 10.1109/DSPA533040.2022.9790763/
12. **Novikov A. I., Shamin N. O.** Algoritm avtomaticheskogo ustraneniya periodicheskogo shuma na izobrazheniyah. *Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov «Metody i sredstva obrabotki i hraneniya informacii»*. Pod redakciej Kostrova B. V. Ryazan'. 2022, pp. 58-63.