

УДК 621.397

Е.В. ОШАРОВСКАЯ, Н.А. ПАТЛАЕНКО  
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова  
І.В. ОШАРОВСКИЙ, Н.П. ГУРЧЕНКО  
Одесский национальный политехнический университет

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКОННЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ

*В работе методами моделирования исследуются способы улучшения границ переходов яркостей в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях. Целью моделирование в среде Matlab было сравнение оконных функций, устраняющих явление Гиббса и окантовки грани, но не приводящих к заметному размытию изображения. Сформулированы критерии выбора оконной функции по количеству отсчетов, приходящихся на полосу спектра сигнала между зоной пропускания и зоной задержания. Проведен теоретический анализ процесса формирования спектров сигналов изображений методами двумерного преобразования Фурье. Определено влияние основных параметров оконных функций на формирование энергии главного лепестка и уровня подавления боковых лепестков. Оптимальность определяется по максимальному значению отношения сигнала к помехе на границах изображения.*

*Ключевые слова:* цифровое изображение, оконная функция, явление Гиббса, отношение сигнала к помехе на границах изображения.

О.В. ОШАРОВСЬКА, М.О. ПАТЛАЄНКО  
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
І.В. ОШАРОВСЬКИЙ, Н.П. ГУРЧЕНКО  
Одеський національний політехнічний університет

### МОДЕЛЮВАННЯ ВІКОННИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВИСОКОЇ ЧІТКОСТІ

*В роботі методами моделювання досліджуються способи поліпшення границь переходів яскравості у горизонтальному, вертикальному і діагональному напрямках. Метою моделювання в середовищі Matlab було порівняння віконних функцій, що усувають явище Гіббса і окантовки границь, але не призводять до помітного розмиття зображення. Сформульовано критерії вибору віконної функції за кількістю відліків, що припадають на смугу спектра сигналу між зоною пропускання і зоною затримання. Проведено теоретичний аналіз процесу формування спектрів сигналів зображень методами двовимірного перетворення Фур'є. Визначено вплив основних параметрів віконних функцій на формування енергії головної пелюстки і рівня придушення бічних пелюсток. Оптимальність визначається за максимальним значенням відношення сигналу до перешкоди на кордонах зображення.*

*Ключові слова:* цифрове зображення, віконна функція, явище Гіббса, відношення сигналу до шуму на кордонах зображення.

O.V. OSHAROVSKA, M.O. PATLAENKO  
O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications  
I.V. OSHAROVSKIYI, N.P. GURCHENKO  
Odessa national polytechnic university

### MODELING WINDOW FUNCTIONS FOR PROCESSING DIGITAL HIGH-DEFINITION IMAGES

*In the modeling techniques are investigated ways to improve the brightness transition edges in the horizontal, vertical and diagonal directions. The purpose of modeling in the Matlab environment was to compare the window functions that eliminate the Gibbs phenomenon and border edges, but do not lead to a noticeable blur of the image. The criteria for the selection of the window function based on the number of samples per band of the signal spectrum between the transmission band and the retention zone are formulated. A theoretical analysis of the process of formation of the image signal spectra by the methods of the two-dimensional Fourier transform is carried out. The influence of the main parameters of the window functions on the formation of the energy of the main lobe and the level of suppression of the side lobes is determined. Optimality is determined by the maximum value of the signal-to-noise ratio at the edges of the image.*

*Key words:* digital image, window function, Gibbs phenomenon, signal-to-noise ratio at image edges.

#### Постановка проблеми

Изображения высокой и сверхвысокой четкости в настоящее время находят широкое применение и в телевидении, и в мультимедийных приложениях, и в медицине [1, 2]. Качество таких изображений

обеспечивается методами цифровой обработки на всех этапах создания, передачи и воспроизведения. Одним из критичных параметров субъективного оценивания качества изображений является его четкость, которая может снижаться в тракте передачи из-за ограничения пропускной способности. Применение фильтров позволяет отсеять шумы, но приводит к переходным процессам, получившим название эффекта Гиббса. На изображениях переходные процессы проявляются как оконтуривание границ. Разработка фильтров изображений, которые не приводят к появлению контуров, но и не размывают границы является одной из актуальных задач.

**Анализ последних исследований и публикаций**

В работе исследуются методы улучшения передачи границ переходов яркостей в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях. Наибольший интерес при проектировании таких предварительных фильтров представляет область перехода от полосы пропускания к полосе задержания. Если амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) в этой области будет иметь резкий переход, то в изображении неизбежно возникают искажения на границах, сопровождающиеся выбросами и колебательными процессами, и единственным признанным методом для телевидения стандартной четкости, методом уменьшения такого рода искажений является формирование склона АЧХ косинус подобной формы. Сформировать такой склон можно путем умножения двумерной частотной характеристики фильтра, являющейся двумерным преобразованием Фурье импульсной характеристики фильтра, на одну из оконных функций [3–5].

**Цель исследования**

Целью моделирования является сравнение оконных функций, устраняющих явление Гиббса и окантовки границ, но не приводящих к заметному размытию изображения. Моделирование обработки изображения осуществляется в среде Matlab и на Simulink. Поставлена задача выбрать и обосновать критерии выбора оконных функций, обеспечивающих наилучшее субъективное качество передачи границ изображения, построения математической модели формирования переходной области и проведения численного решения уравнений двумерной свертки, описывающей процесс обработки изображений оконными функциями в пространственной области с последующим спектральным преобразованием для разных значений параметров оконных функций.

**Изложение основного материала исследования**

Из значительного числа оконных функций нами были исследованы функции Хэмминга, Кайзера и Блэкмана. Окно Кайзера (1) формируется на основе модифицированной функции Бесселя первого рода нулевого порядка  $I_0(\beta)$ :

$$w_{Kaizer} = \frac{\left[ I_0 \left( \beta \sqrt{1 - \left( \frac{2\pi - N + 1}{N - 1} \right)^2} \right) \right]^2}{|I_0(\beta)|}, \tag{1}$$

где  $\beta$  – коэффициент, определяющий долю энергии, сосредоточенной в главном лепестке спектра оконной функции,  $N$  количество отсчетов,  $n$  – текущий номер отсчета.

Окно Хэмминга задается формулой (2):

$$w_{Hem} = 0.53836 - 0.46164 \times \cos \left( \frac{2\pi n}{N - 1} \right). \tag{2}$$

Окно Блэкмана может быть задано в пространственной области в виде (3):

$$h_{Bl} = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{\xi}{\Delta\xi} < -\zeta; \\ \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{\xi}{\Delta\xi} + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{\zeta} \cdot \frac{\xi}{\Delta\xi} - \alpha \cdot \sin \frac{2\pi}{\zeta} \cdot \frac{\xi}{\Delta\xi}}{1 - 2\alpha} \right], & \text{если } -\zeta < \frac{\xi}{\Delta\xi} < \zeta; \\ 1, & \text{если } \frac{\xi}{\Delta\xi} > \zeta. \end{cases} \tag{3}$$

где  $\xi$  - временная координата или связанная с ней координата в плоскости изображения по горизонтали,  $\Delta\xi$  – шаг дискретизации по координате  $\xi$ ;  $\zeta$  - длительность импульсного отклика, выраженная количеством шагов дискретизации, которую в Рекомендации ITU-R BT.801-1 принято равной  $\zeta = 3$ ,  $\alpha$  - параметр функции Блэкмана, который в соответствии с ее определением равен 0,08.

При  $\Delta\xi = 1$  координата  $\xi$  представляет собою номер  $i = \xi \in \overline{0, N_\alpha - 1}$  отсчета, т.е. сигнал яркости (цветности) соответствующего элемента изображения в активной части строки, который изменяется в интервале  $0, (N_\alpha - 1) \cdot \Delta\xi$ , где  $N_\alpha$  – количество элементов изображения в активной части строки в системе с количеством активных строк  $z_a$ .

Ниже приведен фрагмент программы, реализующей функцию Блэкмана (3) в Matlab

```
function [h] = h_blackman(alpha, lambda, delta)

% Функция задания импульсной характеристики системы, описываемая функцией
% окна Блэкмана
%
% Входные переменные:
%
% alpha - параметр, определяющий форму отклика,
% lambda - параметр протяженности
% delta - относительный шаг задания сигнала
%
% Выходные переменные:
%
% p - массив отсчетов импульсной характеристики h(k),
% 1<=k<=2*lambda+1
% Индекс центрального отсчета соответствует k=lambda/delta+1
% Индексы отсчетов фронта характеристики принимают значения
% между k=1 и k=2*lambda/delta+1
%
% Обращение
%
% [h]=h_blackman_t(alpha, lambda, delta)

kmax=round(2*lambda/delta+1);
h=zeros(1, kmax);

for k=1:1:kmax;
    deltak=round(k-lambda/delta-1);
    if deltak<=-round(lambda/delta);
        h(k)=0;
    end
    if abs(deltak)<round(lambda/delta);
        tau=deltak*delta;
        p=(pi/lambda)*tau;
        h(k)=0.5*(1+p/pi+(1/pi)*(sin(p)-alpha*sin(2*p)/(1-2*alpha)));
    end;
    if deltak>=round(lambda/delta);
        h(k)=1;
    end;
end;
```

Процесс обработки изображений оконной функцией в исходной пространственной области математически описывается двумерной дискретной сверткой изображения с функцией окна (4):

$$I_{wind}(x, y) = \sum \sum I_a(x, y) \cdot h_{Bl}(\xi - x, \zeta - y), \quad (4)$$

где  $I_{wind}(x, y)$  — изображение, свернутое с функцией окна Блэкмана;  $I_a(x, y)$  — исходное изображение в активной части кадра.

Для оценки формы АЧХ результат свертки подвергался двумерному преобразованию Фурье и нахождения модуля комплексной функции в области пространственных частот. Количество отсчетов в спектральной области, которое пришлось на переходную часть АЧХ, и представляет объект исследования.

На рис.1 представлен вариант окна Блэкмана, заданное в пространственной области 160 отсчетами, и вид АЧХ такого окна. Для данного варианта выбросы в спектральной области отсутствуют, окантовки не возникают, но время обработки при таком количестве отсчетов в окне не достаточно для обработки в реальном времени.

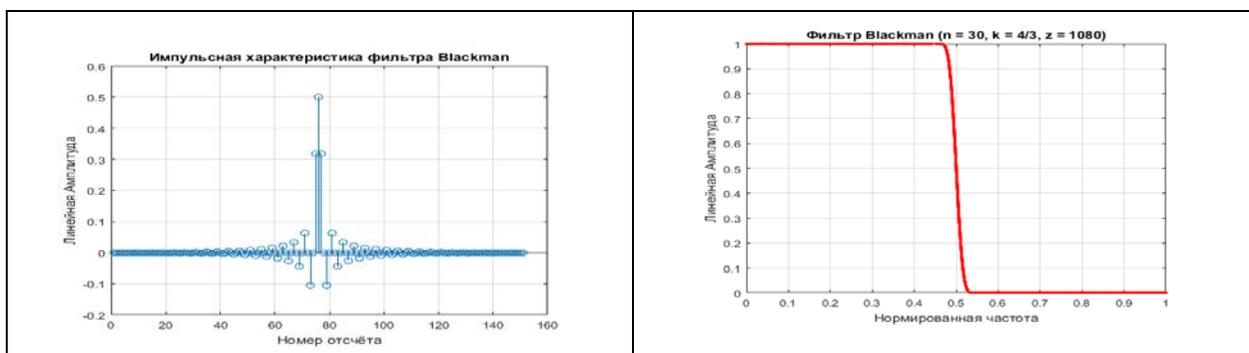


Рис. 1. Результаты фильтрации изображения окном Блэкмана с  $N = 150$

На рис. 2 представлена детальная последовательность перехода от импульсной характеристики окна Блэкмана во временной области (рис. 2, а), его АЧХ при использовании метода частотной выборки (рис.2, б) и нормализованная АЧХ (рис. 2, в). Обращаем внимание, что при преобразовании Фурье возникают отрицательные и положительные частоты, сдвиг отсчётов выборок позволяет получить центрированную нормализованную АЧХ. Количество отсчетов составляет 70, уже заметны выбросы и колебательный процесс АЧХ, приводящие к окантовкам.

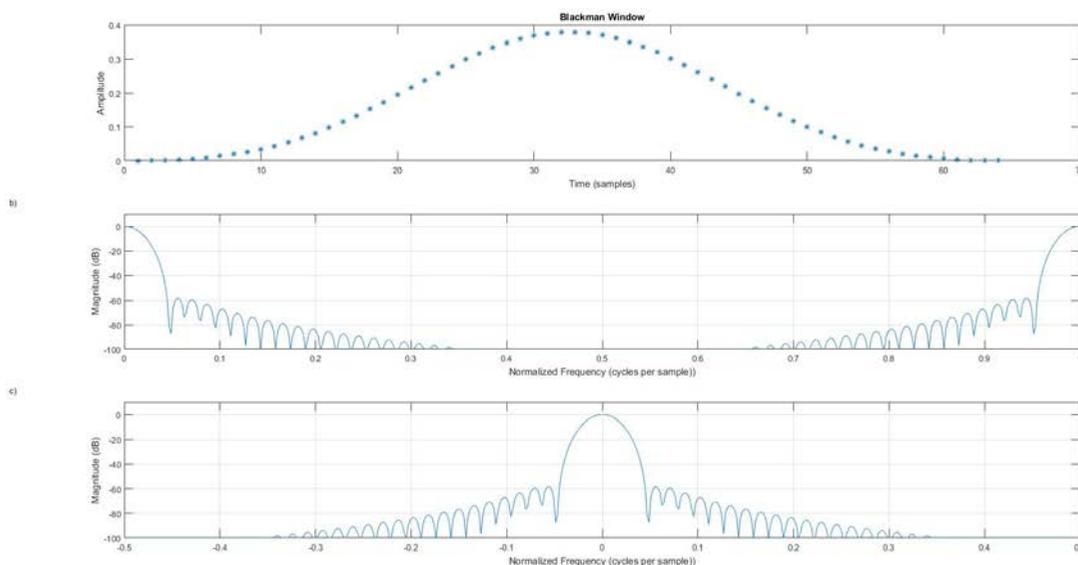


Рис. 2. Форма окна Блэкмана – (а), его АЧХ – (б) и нормализованная АЧХ – (в)

На рис. 3 представлена центральная часть импульсной характеристика фильтра в пределах двенадцати элементов изображения, по которой можно определить время переходного процесса в 0,875 элемента изображения, что можно считать приемлемым для реального времени.

Оценку качества цифрового изображения можно проводить и объективными методами в параметрах среднеквадратичного отклонения (СКО) между восстановленным и исходным изображением, а также показателем отношения сигнала к шуму на границах или цветовых переходах изображения (EPSNR).

В табл. 1 приведены количественные показатели для указанных трех видов оконных функций.

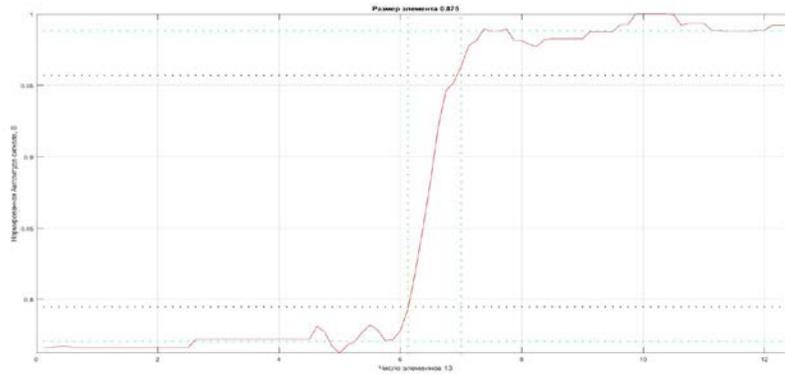


Рис. 3. Форма переходного процесса для окна Блэкмана

Таблица 1

Зависимость показателей качества от типа оконной функции

Тип окна	N = 20		N = 150		N = 300	
	СКО	EPSNR, дБ	СКО	EPSNR, дБ	СКО	EPSNR, дБ
Блэкмана	0,0428	37,8	0,0640	35,9	0,0667	35,8
Кайзера	0,0558	36,6	0,0666	35,8	0,0678	35,8
Хэмминга	0,0468	37,4	0,0650	35,9	0,0667	35,8

**Выводы**

В работе проведен теоретический анализ и моделирование процесса формирования требуемой амплитудно-частотной характеристики фильтра с заданной формой переходной части от полосы пропускания к полосе задержания путем формирования исходной формы оконной функции во временной области и последующим дискретным преобразованием Фурье. Сформулированы критерии выбора оконной функции по количеству отсчетов, приходящихся на полосу спектра сигнала между зоной пропускания и зоной задержания. Предложена математическая модель формирования переходной области и проведено численное решение систем матричных уравнений двумерной свертки, которая описывает процесс обработки изображений оконными функциями в пространственной области с последующим спектральным преобразованием для разных значений параметров оконных функций. Полученные результаты моделирования трех оконных функций показали преимущества использования окна Блэкмана, дающего наименьшее СКО и наибольшее отношение сигнала к шуму на яркостных и цветовых переходах.

**Список использованной литературы**

1. Значения параметров стандартов ТВЧ для производства программ и международного обмена программами Рекомендация МСЭ-R BT.709-6 // ITU-R. –2015 г.– 7 с.
2. Значения параметров для систем ТСВЧ для производства программ и международного обмена ими. Рекомендация МСЭ-R BT2020-2 // ITU-R. –2015 г.– 6 с.
3. Басий В.Т. Новые методы измерения параметров ТВ трактов при цифровой обработке / В.Т. Басий, Л.Б. Березовская, Д.И. Выхот, О.В. Гофайзен // Техника кино и телевидения. –1990.–№ 5. – С. 22–24.
4. Gofaizen Oleg. Test Signals for Assessment Image Quality in HD and UHD TV Video Path / Oleg Gofaizen, Olena Osharovska, Mikola Patlaenko, Volodimir Pyliavskyi // 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS) (Odessa, September 5-11, 2016). – Odessa: IEEE, 2016. – P. 42–46.
5. Патлаенко Н.А. Предфильтрация ТВ изображений высокой четкости. / Н.А. Патлаенко, Е.В. Ошаровская // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. –2016. – №2. – С. 144–152.