

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
"ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ"

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Моделирование формирования изображения при когерентном и некогерентном освещении для идеальной оптической системы

Выполнил:

Горбенко Лев

группа: Q4401

дата выполнения: 13.04.2025

Проверил:

Иванова Т.В.

Подпись:

Санкт-Петербург

2025

1 Цель работы

Создать программу, моделирующую формирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для:

1. периодическая решетка (симметричен относительно центра координат): 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 линий
2. любое изображение (не цветное, вырезать 512x512)

2 Ход работы

2.1 Формирование изображений на решетках

Моделирование формирования изображения для периодических решеток: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 линий

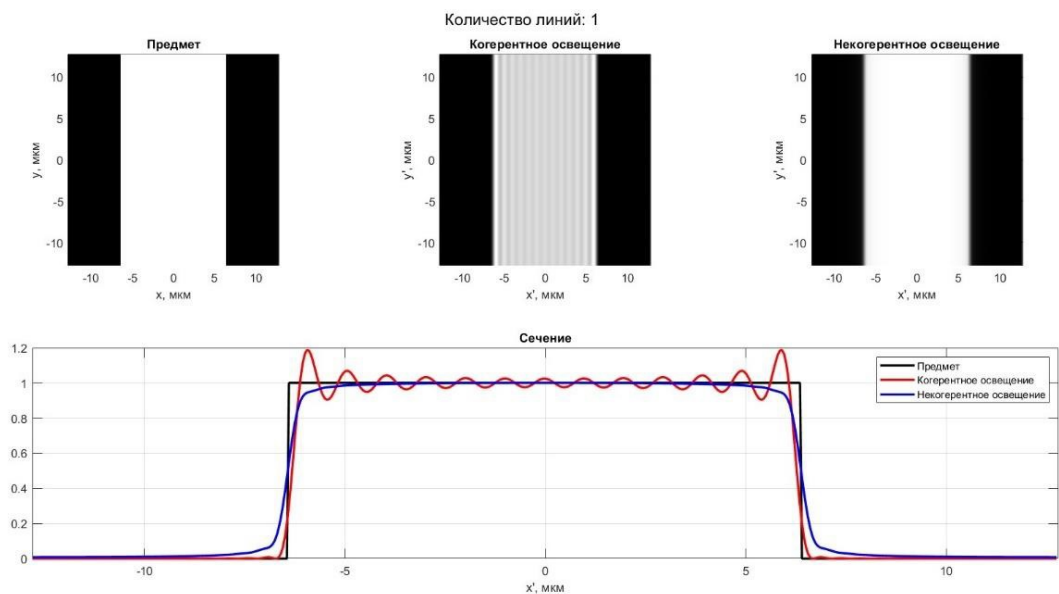


Рис. 1: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 1 линия

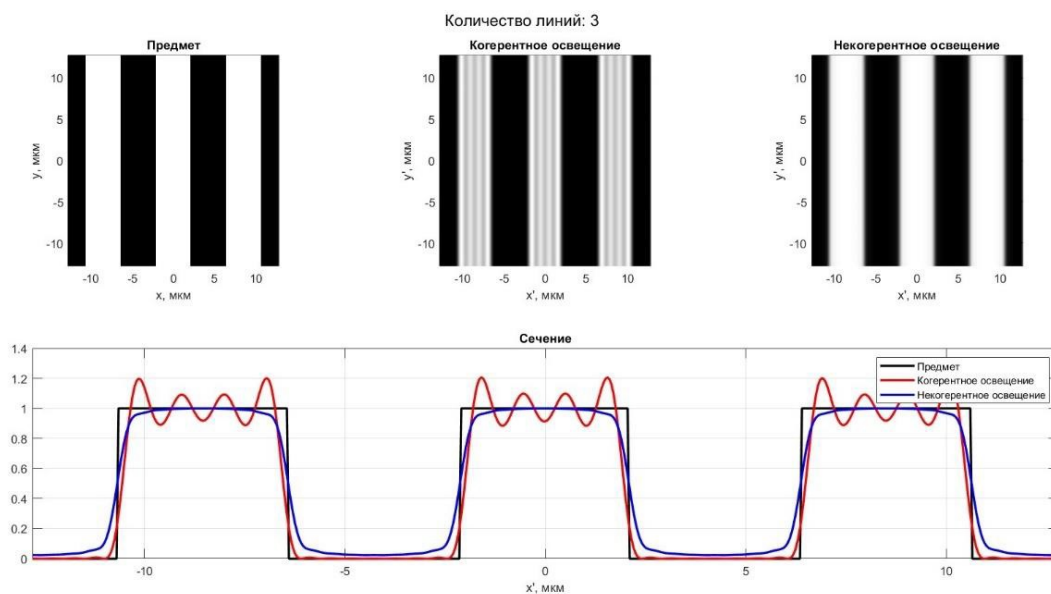


Рис. 2: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 3 линии

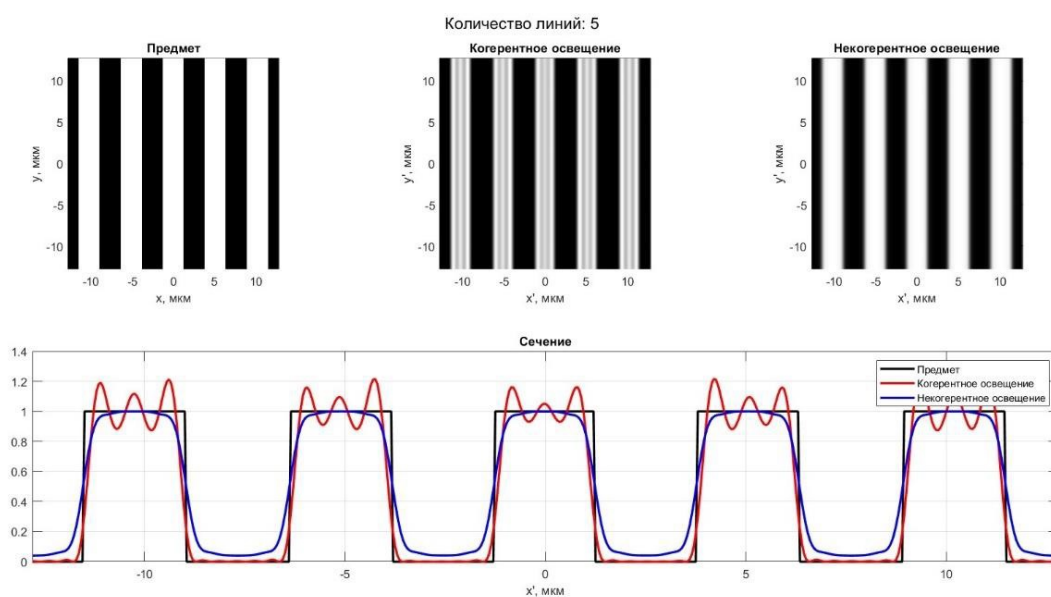


Рис. 3: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 5 линий

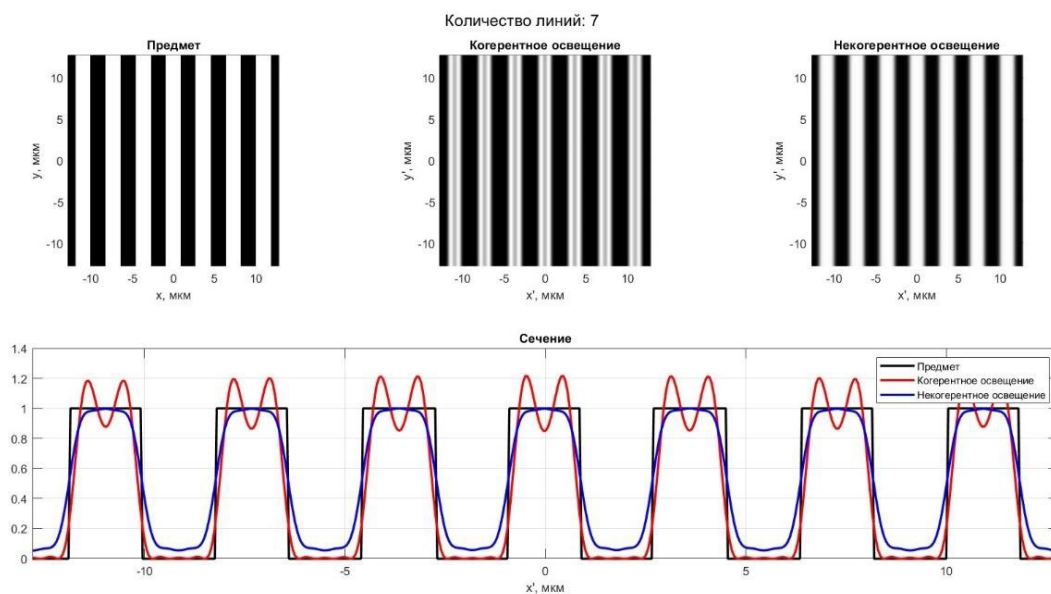


Рис. 4: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 7 линий

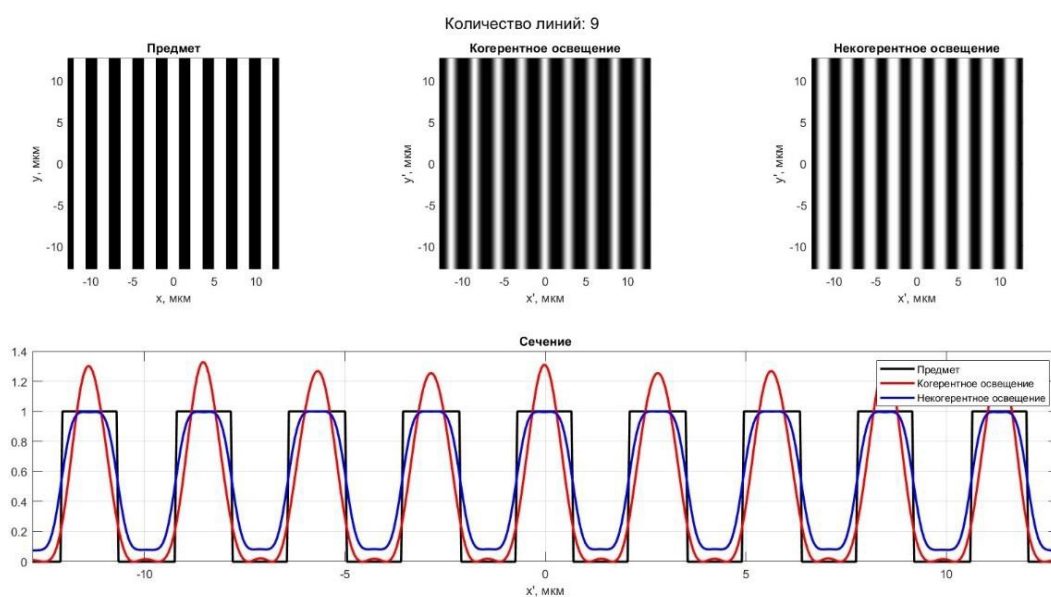


Рис. 5: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 9 линий

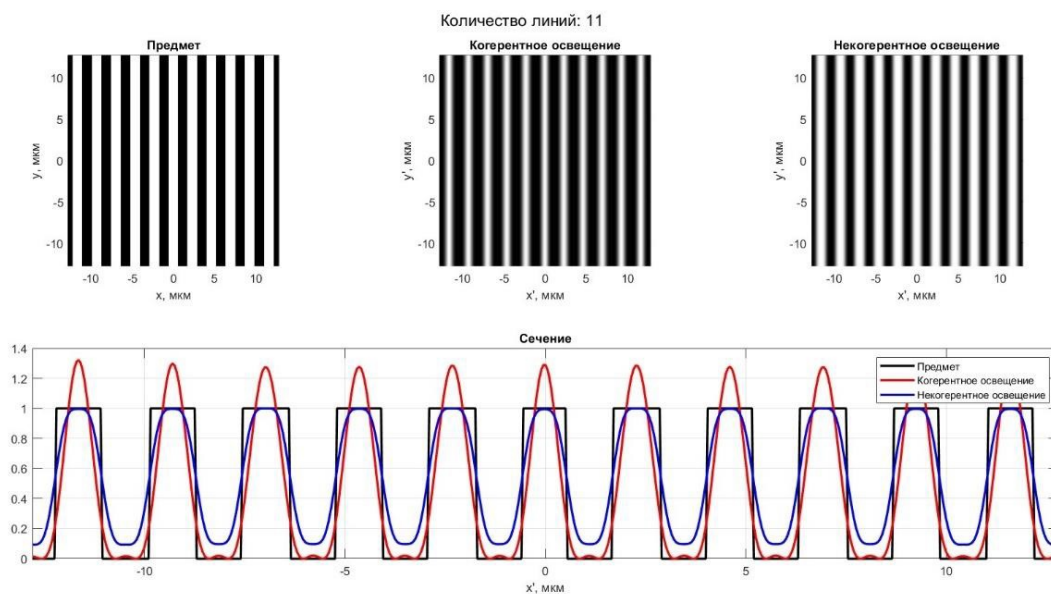


Рис. 6: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 11 линий

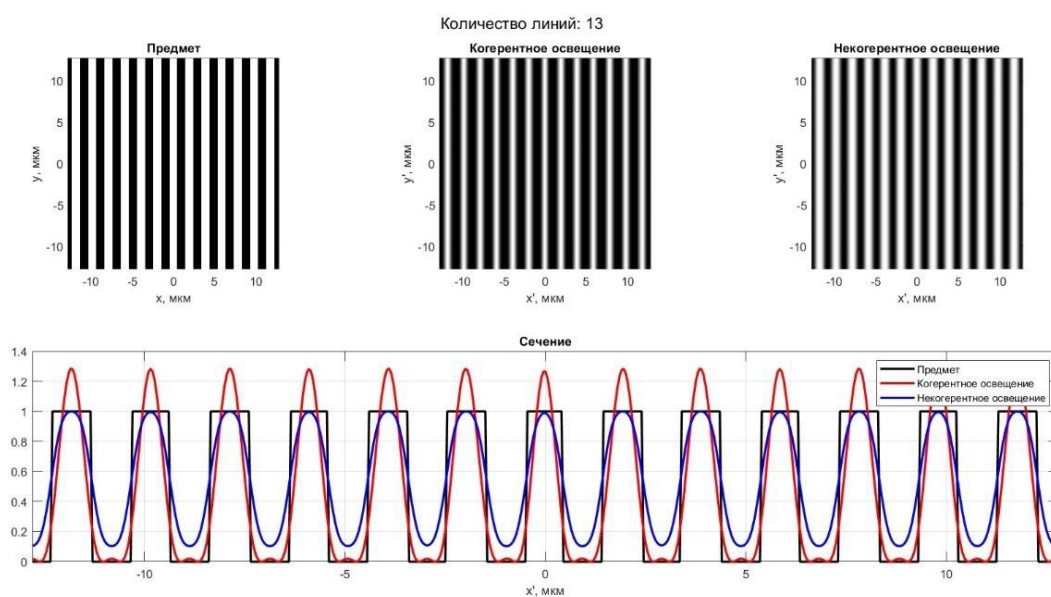


Рис. 7: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 13 линий

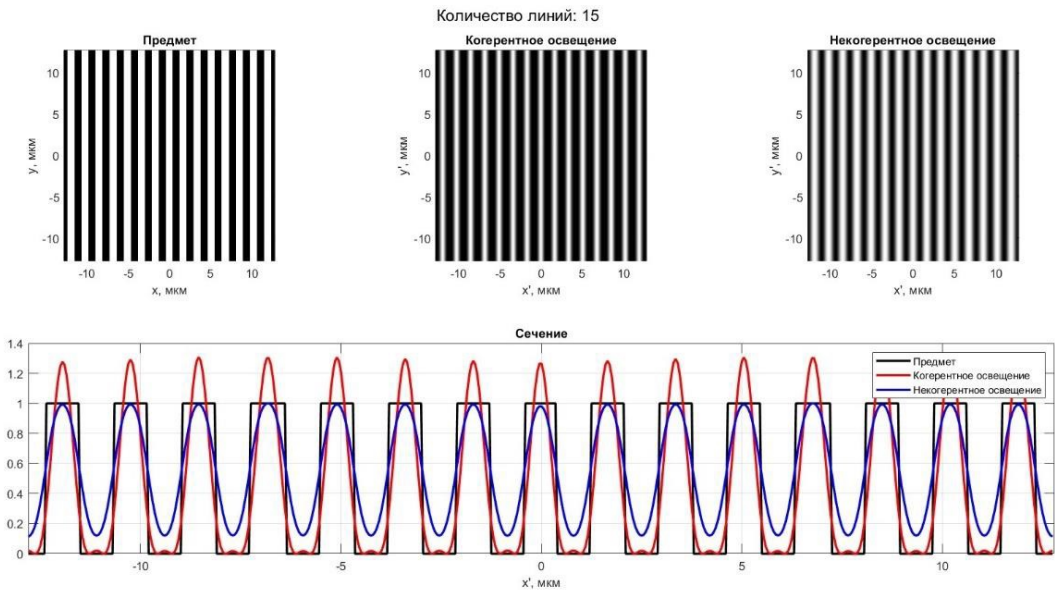


Рис. 8: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 15 линий

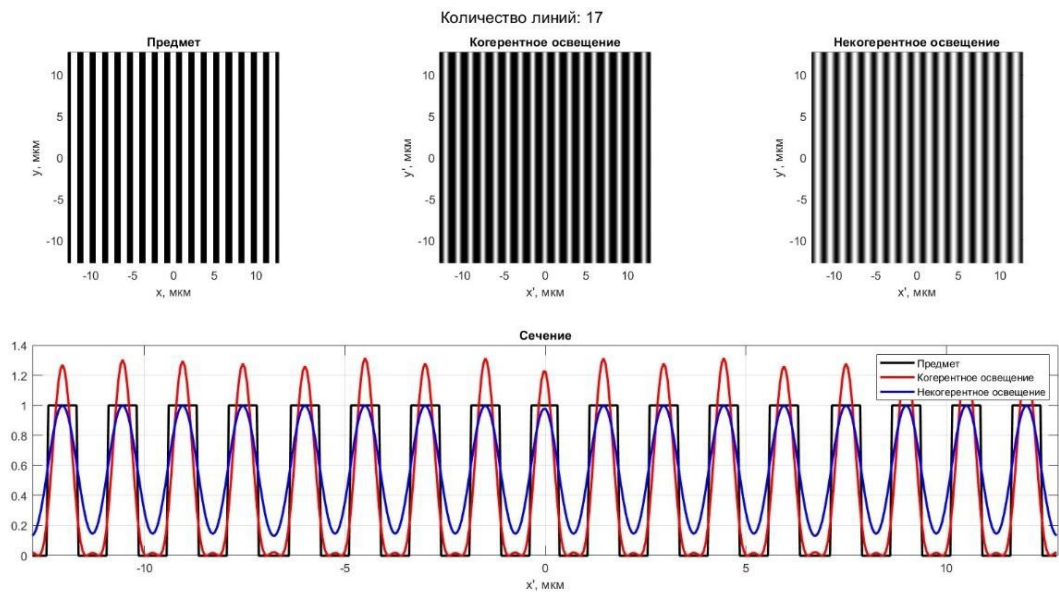


Рис. 9: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для периодической решетки: 17 линий

Моделирование формирования изображения для произвольного изображения:

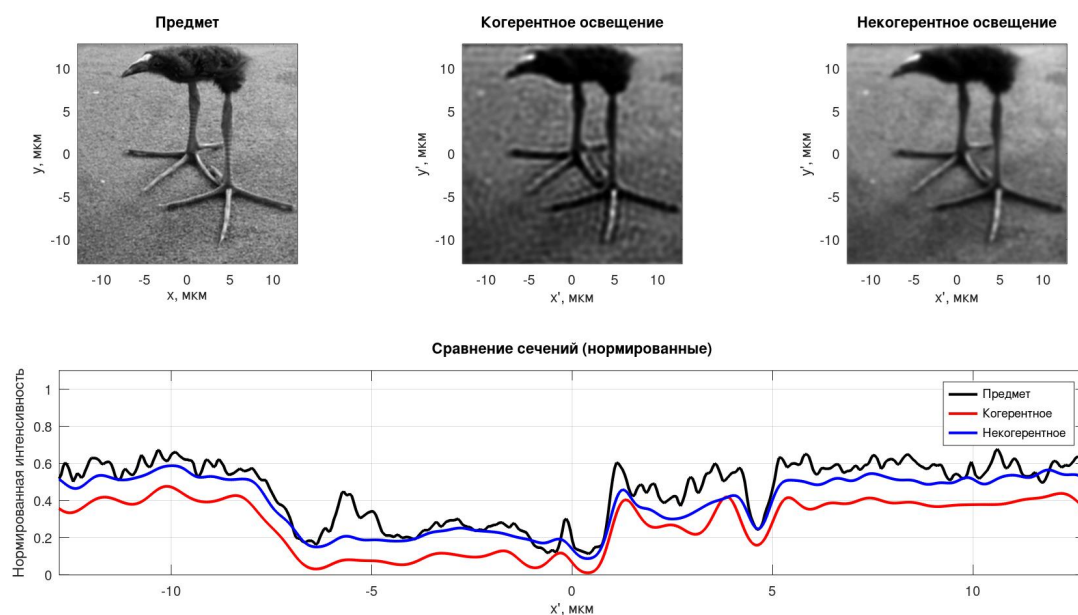


Рис. 10: Моделирование изображения при когерентном и некогерентном освещении для произвольного изображения

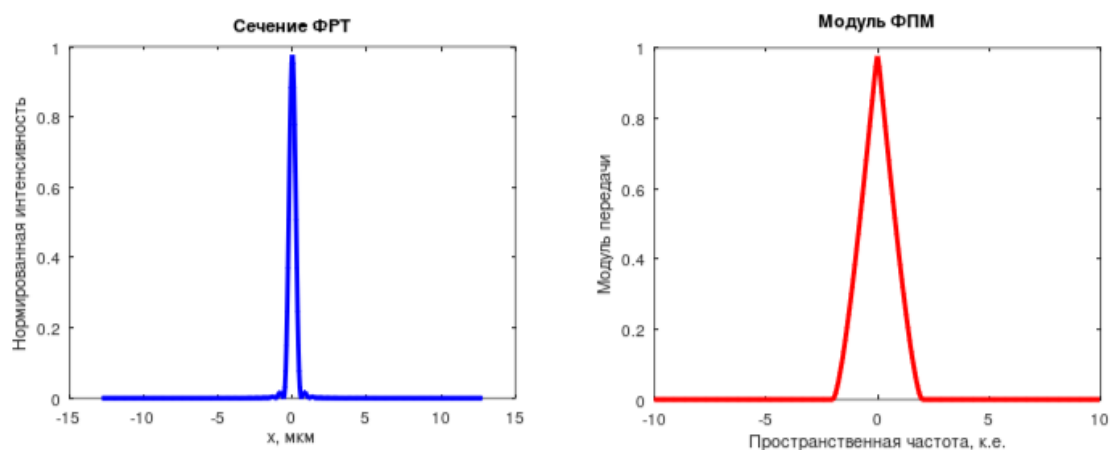


Рис. 11: Функция рассеяния точки и функция передачи модуляции

3 Выводы

В ходе моделирования изображений периодических решёток, а также произвольного изображения с мелкими и крупными деталями, было обнаружено различие между когерентным и некогерентным моделированием объектов – оно заключается в различии в резкости, наличии эффекта интерференции. Когерентные изображения периодических решёток имеют более узкие белые полосы в сравнении с аналогичными более смазанными полосами на некогерентном изображении решёток.

Код программы

part 1

% Часть 1. Формирование изображения предмета-решётки

clear;

clc;

pkg load image; % Для некоторых версий Octave может потребоваться

% Параметры системы

N = 512; % Размер массива

lambda = 0.5; % Длина волны, мкм

Dzr = 20; % Охват зрачка

A = 0.5; % Апертура

% Вычисление производных параметров

Rzr = N / Dzr; % Радиус зрачка

dp = Dzr / N; % Шаг по зрачку, к. е.

dn = 1 / (N * dp); % Шаг по предмету, к. е.

dx = dn * (lambda / A); % Шаг по изображению, мкм

n_max = dn * (N/2); % Максимальное значение координаты предмета

p_max = dp * (N/2); % Максимальное значение координаты зрачка

x_max = dx * (N/2); % Максимальное значение координаты изображе

% Создание массива координат

coords = linspace(-n_max, n_max-dn, N);

[nx, ny] = meshgrid(coords, coords);

coords_p = linspace(-p_max, p_max-dp, N);

[px, py] = meshgrid(coords_p, coords_p);

coords_x = linspace(-x_max, x_max-dx, N);

[x, y] = meshgrid(coords_x, coords_x);

% Функция зрачка

f = (px.^2 + py.^2) < 1; % Rzr = 1, к. е.

% Обработка решетки с заданным числом линий (count)

for count = 1:2:17

 % Генерация решетки

 w = round(N/(count*2)); % Ширина линии


```

grid = zeros(N,N);

% Создаем одну линию решетки
line_pattern = [zeros(1,w), ones(1,w)];
full_pattern = repmat(line_pattern, 1, ceil(N/(2*w)));
full_pattern = full_pattern(1:N);

% Симметризуем
full_pattern(1+N/2:end) = fliplr(full_pattern(1:N/2));

% Создаем 2D решетку
item = repmat(full_pattern, N, 1);

% Визуализация предмета
subplot(2, 3, 1);
imagesc(x(1,:), y(:,1), item);
colormap(gray);
axis equal tight;
xlabel('x, мкм');
ylabel('y, мкм');
title('Предмет');

% Когерентное освещение
fft_item = fft2(item) / N;
filtered_image = fft_item .* f;
ifft_image = ifft2(filtered_image) * N;
intensity_image = abs(ifft_image).^2;

subplot(2, 3, 2);
imagesc(x(1,:), y(:,1), intensity_image);
colormap(gray);
axis equal tight;
xlabel("x', мкм");
ylabel("y', мкм");
title('Когерентное освещение');

% Некогерентное освещение
object_intensity = abs(item).^2;
fft_object = fft2(object_intensity);

PSF = abs(ifft2(f)).^2;

```

```

PSF = PSF / sum(PSF(:)); % Нормировка
OTF = fft2(PSF);

fft_image = fft_object .* OTF;
ifft_intens_image = real(ifft2(fft_image));
ifft_intens_image = ifft_intens_image / max(ifft_intens_image(:));

subplot(2, 3, 3);
imagesc(x(1,:), y(:,1), ifft_intens_image);
colormap(gray);
axis equal tight;
xlabel("x', мкм");
ylabel("y', мкм");
title('Некогерентное освещение');

% Визуализация сечений
subplot(2, 1, 2);
plot(x(N/2, :), item(N/2, :), 'k-', 'LineWidth', 2, ...
      x(N/2, :), intensity_image(N/2, :), 'r-', 'LineWidth', 2, ...
      x(N/2, :), ifft_intens_image(N/2, :), 'b-', 'LineWidth', 2);
xlim([-x_max, x_max]);
grid on;
legend('Предмет', 'Когерентное освещение', 'Некогерентное освещение');
xlabel("x', мкм");
title('Сечение');

% Общий заголовок
sgtitle(['Количество линий: ' num2str(count)], 'FontSize', 14);
pause(1);
end

part 2

% Часть 2. Формирование изображения произвольного изображения
% Полностью рабочий код для Octave

clear; clc; close all;
pkg load image;

%% Параметры системы
N = 512; % Размер массива [пиксели]

```

```

lambda = 0.5; % Длина волны [мкм]
Dzr = 20; % Охват зрачка [к.е.]
A = 0.5; % Апертура [к.е.]
Rzr = N / Dzr; % Радиус зрачка [пиксели]
dp = Dzr / N; % Шаг по зрачку [к.е./пиксель]
dn = 1 / (N * dp); % Шаг по предмету [к.е.]
dx = dn * (lambda / A); % Шаг по изображению [мкм]

%% Создание координатных сеток
n_values = linspace(-dn*N/2, dn*N/2-dn, N);
p_values = linspace(-dp*N/2, dp*N/2-dp, N);
x_values = linspace(-dx*N/2, dx*N/2-dx, N);

[nx, ny] = meshgrid(n_values, n_values);
[px, py] = meshgrid(p_values, p_values);
[x, y] = meshgrid(x_values, x_values);

%% Функция зрачка
r = sqrt(px.^2 + py.^2);
f = double(r <= 1); % Круглая апертура

%% Загрузка и подготовка изображения
[fn, pn] = uigetfile({'*.jpg;*.png;*.bmp;*.tif', 'Image Files'}, 'Select
if isequal(fn, 0)
    item = double(zeros(N));
    item(N/4:3*N/4, N/4:3*N/4) = 1;
    item(N/3:2*N/3, N/3:2*N/3) = 0;
else
    img = im2double((imread(fullfile(pn, fn))));
    item = imresize(img, [N, N]);
end

%% Когерентное освещение
fft_item = fftshift(fft2(ifftshift(item)));
filtered_image = fft_item .* f;
ifft_image = fftshift(ifft2(ifftshift(filtered_image)));
intensity_image = abs(ifft_image).^2;

%% Некогерентное освещение
object_intensity = abs(item).^2;
fft_object = fftshift(fft2(ifftshift(object_intensity)));

```

```

% Расчет PSF и OTF
ifft_scattering = (dp/dn) * N * fftshift(ifft2(ifftshift(f)));
PSF = abs(ifft_scattering).^2 / (pi^2);
OTF = (dn/dp) * pi * fftshift(fft2(ifftshift(PSF))) / N;

fft_image = fft_object .* OTF;
ifft_intens_image = real(fftshift(ifft2(ifftshift(fft_image))));
ifft_intens_image = ifft_intens_image / max(ifft_intens_image(:));

%% Визуализация результатов
figure('Name', 'Анализ формирования изображения', 'Position', [100 100 1

% 1. Исходное изображение
subplot(2,3,1);
imagesc(x_values, x_values, item);
colormap(gray); axis equal tight; colorbar;
title('Исходное изображение');
xlabel('x, мкм'); ylabel('y, мкм');

% 2. Когерентное изображение
subplot(2,3,2);
imagesc(x_values, x_values, intensity_image);
colormap(gray); axis equal tight; colorbar;
title('Когерентное изображение');
xlabel('x, мкм'); ylabel('y, мкм');

% 3. Некогерентное изображение
subplot(2,3,3);
imagesc(x_values, x_values, ifft_intens_image);
colormap(gray); axis equal tight; colorbar;
title('Некогерентное изображение');
xlabel('x, мкм'); ylabel('y, мкм');

% 4. Фаза когерентного изображения
subplot(2,3,4);
imagesc(x_values, x_values, angle(ifft_image));
colormap(jet); axis equal tight; colorbar;
title('Фаза когерентного изображения');
xlabel('x, мкм'); ylabel('y, мкм');

```

```

% 5. Сравнение сечений
subplot(2,3,[5,6]);
plot(x_values, item(N/2,:), 'k-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Исходное');
hold on;
plot(x_values, intensity_image(N/2,:)/max(intensity_image(:)), 'r-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Нормированная интенсивность');
plot(x_values, ifft_intens_image(N/2,:), 'b-', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Модуль ФПМ');
hold off;
grid on; xlim([-x_max x_max]); ylim([0 1.1]);
legend('Location', 'northeast');
title('Сравнение сечений (нормированные)');
xlabel('x, мкм'); ylabel('Нормированная интенсивность');

%% Дополнительное окно с характеристиками системы
figure('Name', 'Характеристики оптической системы', 'Position', [200 200 400 400]);

% 1. Функция зрачка
subplot(2,3,1);
imagesc(p_values, p_values, f);
colormap(gray); axis equal tight; colorbar;
title('Функция зрачка');
xlabel('px, к.е.');
```

py, к.е.');

```

% 2. ФПТ (PSF)
subplot(2,3,2);
imagesc(x_values, x_values, PSF/max(PSF(:)));
colormap(gray); axis equal tight; colorbar;
title('ФПТ (нормированная)');
xlabel('x, мкм'); ylabel('y, мкм');
```

```

% 3. Сечение ФПТ
subplot(2,3,3);
plot(x_values, PSF(N/2,:)/max(PSF(:)), 'b-', 'LineWidth', 2);
xlim([-x_max/4 x_max/4]); grid on;
title('Сечение ФПТ');
xlabel('x, мкм'); ylabel('Нормированная интенсивность');
```

```

% 4. Модуль ФПМ (OTF)
subplot(2,3,4);
plot(p_values, abs(OTF(N/2,:)), 'r-', 'LineWidth', 2);
xlim([0 p_max/2]); ylim([0 1.1]); grid on;
title('Модуль ФПМ');
```

```

xlabel('Пространственная частота, к.е.');
```

```

ylabel('Модуль передачи');
```

```

% 5. Фаза ФПМ
subplot(2,3,5);
plot(p_values, angle(OTF(N/2,:)), 'g-', 'LineWidth', 2);
xlim([0 p_max/2]); grid on;
title('Фаза ФПМ');
xlabel('Пространственная частота, к.е.');
```

```

ylabel('Фаза [рад]');
```

```

% 6. 3D ФРТ (исправленная версия)
subplot(2,3,6);
step = 8; % Уменьшаем количество точек для 3D графика
idx = 1:step:N;
[x_plot, y_plot] = meshgrid(x_values(idx), y_values(idx));
surf(x_plot, y_plot, PSF(idx,idx)/max(PSF(:)));
shading interp; colormap(jet);
title('3D вид ФРТ');
```

```

xlabel('x, мкм'); ylabel('y, мкм'); zlabel('Интенсивность');
```

```

view(30, 45);

%% Сохранение результатов
save_results = questdlg('Сохранить результаты?', 'Сохранение', 'Да', 'Нет');
if strcmp(save_results, 'Да')
    folder_name = uigetdir('', 'Выберите папку для сохранения');
    if folder_name ~= 0
        saveas(gcf, fullfile(folder_name, 'optical_system_results.png'))
        f = findobj('Name', 'Характеристики оптической системы');
        if ~isempty(f)
            saveas(f, fullfile(folder_name, 'system_characteristics.png'))
        end
        save(fullfile(folder_name, 'simulation_data.mat'), ...
            'item', 'intensity_image', 'ifft_intens_image', 'PSF', 'OTF');
        disp('Результаты успешно сохранены');
    end
end
end

```