

ГУАП

КАФЕДРА № 14

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

ассистент

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Н.Н. Эпаев

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗРИТЕЛЬНОГО
ВОСПРИЯТИЯ

по курсу: НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

1045

подпись, дата

Бондарев К.А.

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2024

1. Цель работы

Исследовать возможность компьютерного моделирования поведения ганглиозных клеток сетчатки и нейронов зрительной (стриарной) коры мозга либо в форме искусственных нейронных сетей с повторением структуры рецептивных полей, либо в форме последовательности фильтров, осуществляющих свертку изображения с различными ядрами.

2. Теоретический минимум

Сетчатка преобразует электромагнитное излучение в нервные сигналы благодаря слою светочувствительных рецепторов (палочек и колбочек). Этот слой с точки зрения обработки зрительной информации является первым.

Передний слой сетчатки состоит из ганглиозных клеток. Аксоны этих клеток проходят по поверхности сетчатки к слепому пятну, в котором они собираются в зрительный нерв, соединяющий глаз и мозг.

При проекции на сетчатку маленького пятнышка света можно найти на сетчатке области, освещение которых увеличивает или подавляет активность конкретной ганглиозной клетки. Такая область называется рецептивным полем соответствующего нейрона.

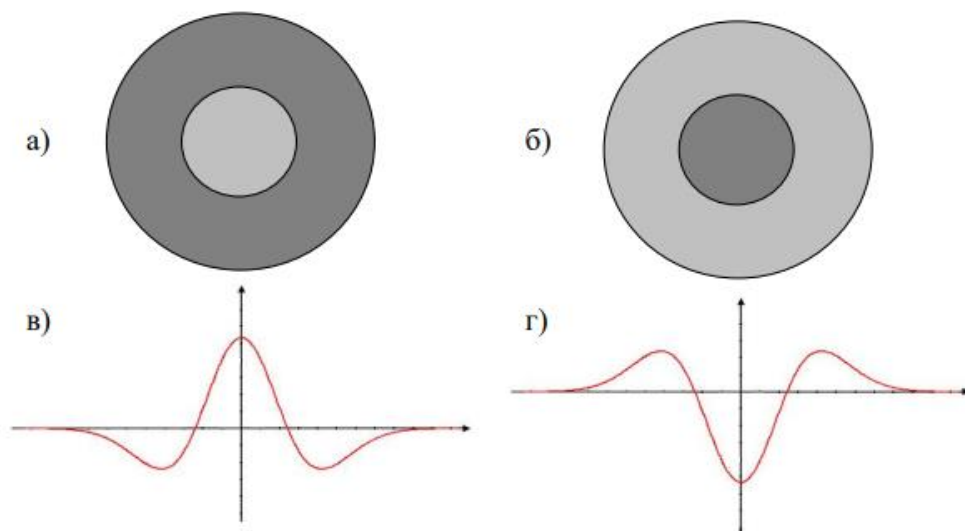


Рисунок 1 – Структура рецептивных полей ганглиозных клеток:

а) случай on-реакции; б) случай off-реакции; в) и г) сечения карт рецептивных полей в случае on- и off-реакций, аппроксимированных как разности гауссиан

Рецептивные поля ганглиозных клеток круглые и состоят из центра и периферии, причём эти клетки бывают двух типов: у клеток с так называемой on-реакцией засветка центра рецептивного поля (появления в этой области стимула) приводит к повышению

активности клетки, а засветка периферии – к подавлению её активности, в то время как у клеток с off-реакцией всё в точности наоборот.

Таким образом, если в центр рецептивного поля клетки с on-реакцией проецировать пятнышко света, то при увеличении размеров этого пятнышка активность клетки будет возрастать, пока пятно не заполнит весь центр; когда же пятно начнет заполнять периферию, то активность клетки будет уменьшаться (при равномерной засветке всего рецептивного поля ганглиозная клетка практически не будет проявлять активности).

Аксоны ганглиозных клеток сетчатки (зрительный нерв) входят в наружное коленчатое тело (НКТ), а аксоны клеток НКТ идут далее к первичной зрительной коре, также называемой стриарной корой. При этом связи между сетчаткой, НКТ и стриарной корой имеют топографическую организацию, то есть сохраняют ту же упорядоченность в пространстве, что и у точек изображения на сетчатке.

Стриарная кора имеет несколько слоёв, и с каждым следующим слоем реакции нейронов усложняются. Первые (в порядке обработки информации в зрительной системе) нейроны с дирекционной избирательностью были названы простыми клетками. Эти нейроны бывают разных типов, чувствительных к трём видам стимула (рисунок 2).



Рисунок 2 – Три стимула, к которым могут быть чувствительны клетки стриарной коры

Ключевой характеристикой является ориентация стимула. Простые клетки наиболее сильно реагируют на линию или край одной ориентации. Такая реакция простых клеток может быть реализована путем получения входов от нескольких ганглиозных клеток, причём от клеток, соответствующих белым областям полей.

Следующему уровню анализа соответствуют сложные клетки, получающие входы от простых клеток. Эти клетки также чувствительны к стимулам трёх указанных видов и обладают дирекционной избирательностью. Они реагируют на соответствующий стимул независимо от того, в каком месте рецептивного поля он появляется. Это может быть реализовано путем интеграции откликов от двух или более простых клеток, реагирующих на полосы одинаковой ориентации в соседних точках изображения.

3. Ход работы

Программный модуль, предназначенный для моделирования работы клеток сетчатки и зрительной коры, должен принимать изображение с белым стимулом (например, пятно или линия) на чёрном фоне и выдавать числовую реакцию на этот стимул. Основная задача программы — определить свойства модели клетки, подавая на вход различные стимулы и фиксируя ее отклики.

3.1 Модель ганглиозной клетки

Отклик ганглиозных клеток можно смоделировать с помощью фильтра, ядро которого представляет собой разность двух гауссовых функций с различными дисперсиями.

Для проведения экспериментов требуется изучить реакцию одной ганглиозной клетки на разнообразные стимулы. Сначала определяем отклик клетки на небольшое световое пятно (рисунок 3).

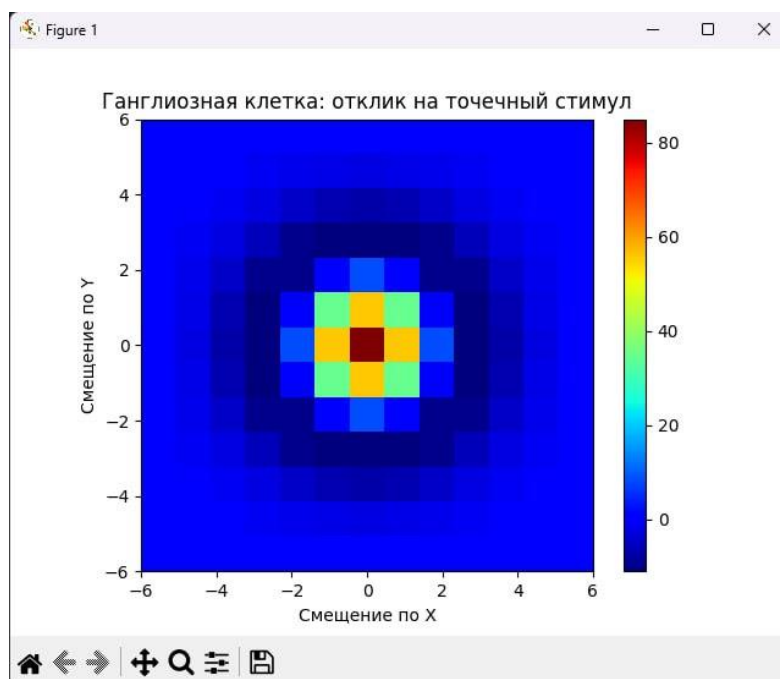


Рисунок 3 – Отклики модели ганглиозной клетки, полученные путем помещения светового пятна в разные точки рецептивного поля

Затем используем светлое пятно на тёмном фоне, постепенно увеличивая его размер и фиксируя величину отклика. График зависимости отклика от размера пятна представлен на рисунке 4.

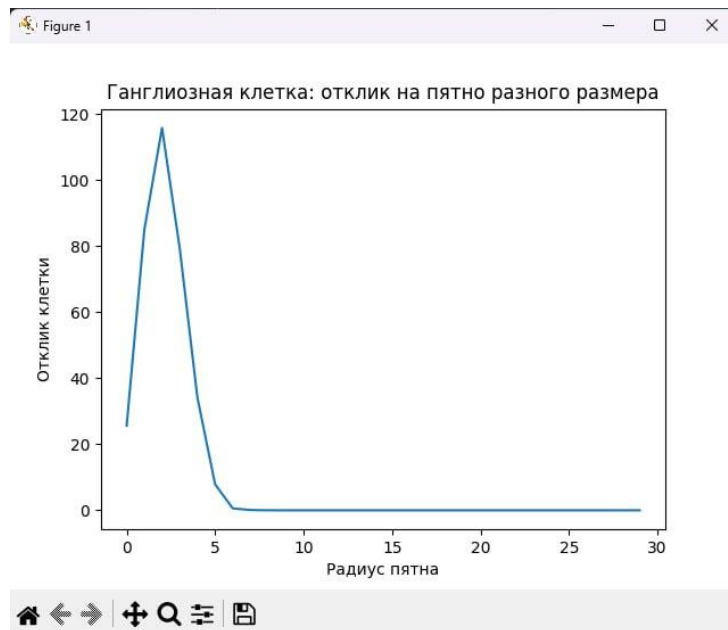


Рисунок 4 – Зависимость отклика модели ганглиозной клетки от размера стимула (светлого пятна на тёмном фоне)

Это соответствует известным данным о работе ганглиозных клеток сетчатки, с учетом того, что биологические клетки имеют некоторый базовый уровень активности в состоянии покоя, и их активность не становится отрицательной (как в модели), а просто снижается до нуля.

Далее в качестве стимула берем линию, проходящую через центр рецептивного поля, вместо окружности (рисунок 5).

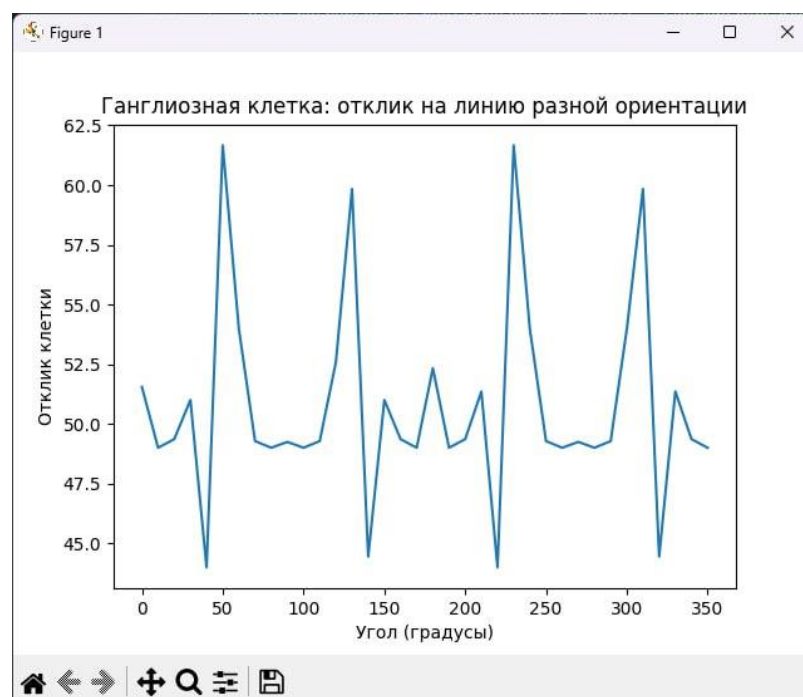


Рисунок 5 – Зависимость отклика модели ганглиозной клетки от угла наклона линии

3.2 Модель простой клетки

Чтобы создать модель простой клетки, можно объединить (суммировать) отклики нескольких ганглиозных клеток. На рисунке 6 показана зависимость отклика модели ганглиозной клетки от размера светлого пятна на тёмном фоне.

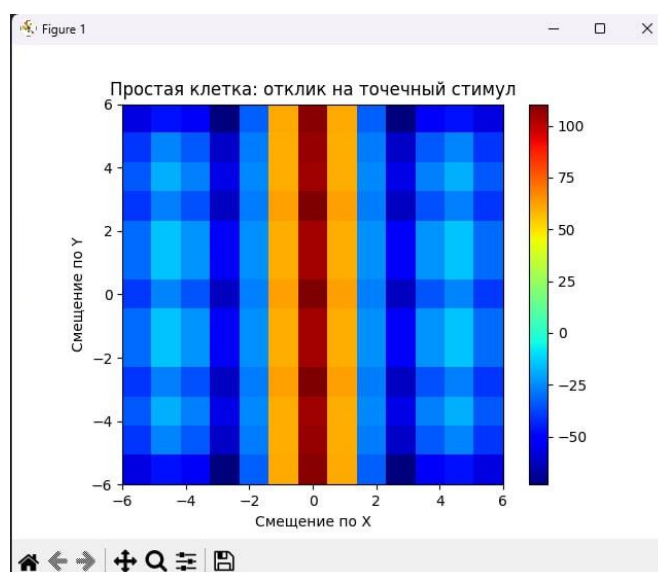


Рисунок 6 – Отклики модели простой клетки, полученные путем помещения светового пятна в разные точки рецептивного поля

Отклик демонстрирует заметную негативную реакцию при определенных радиусах, что связано с чувствительностью простых клеток к контрастам и ориентации краев (рисунок 7).

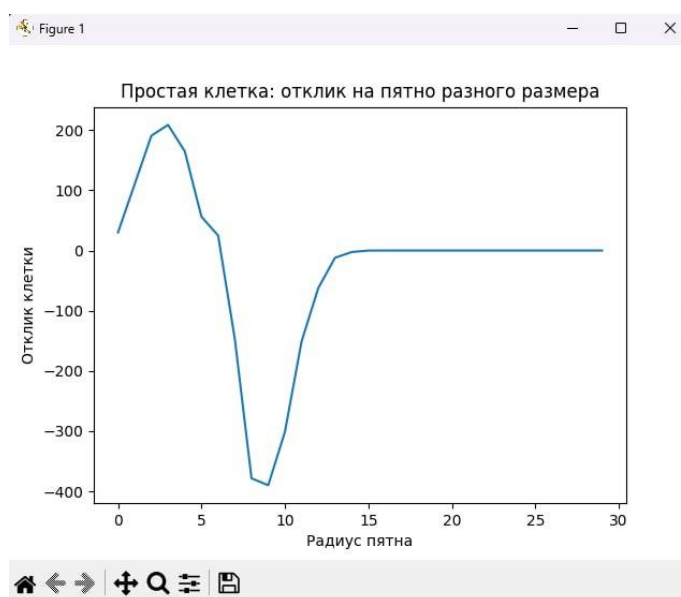


Рисунок 7 – Зависимость отклика модели простой клетки от размера стимула (светлого пятна на тёмном фоне)

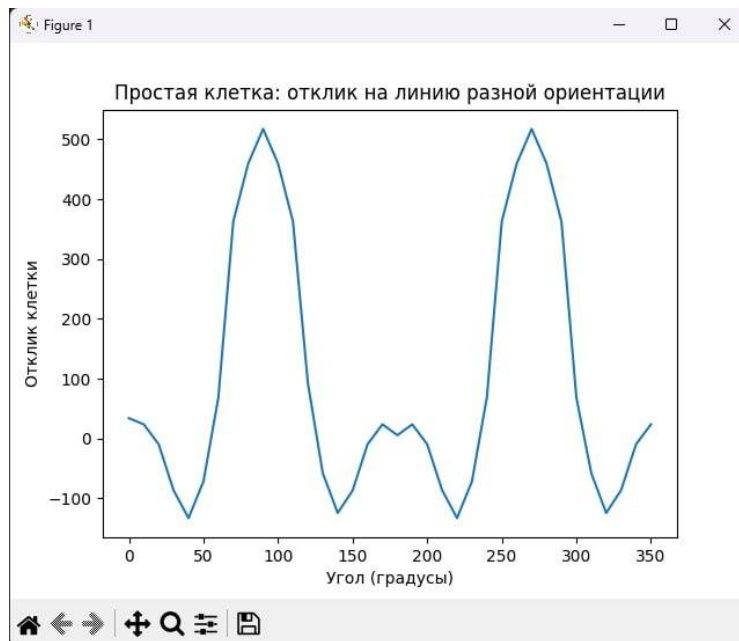


Рисунок 8 – Зависимость отклика модели простой клетки от угла наклона линии

3.3 Модель сложной клетки

Для реализации модели сложной клетки можно объединить (суммировать) отклики нескольких простых клеток. В биологических системах зрения сложные клетки интегрируют информацию от нескольких простых клеток и реагируют на более сложные паттерны стимулов (рисунок 9).

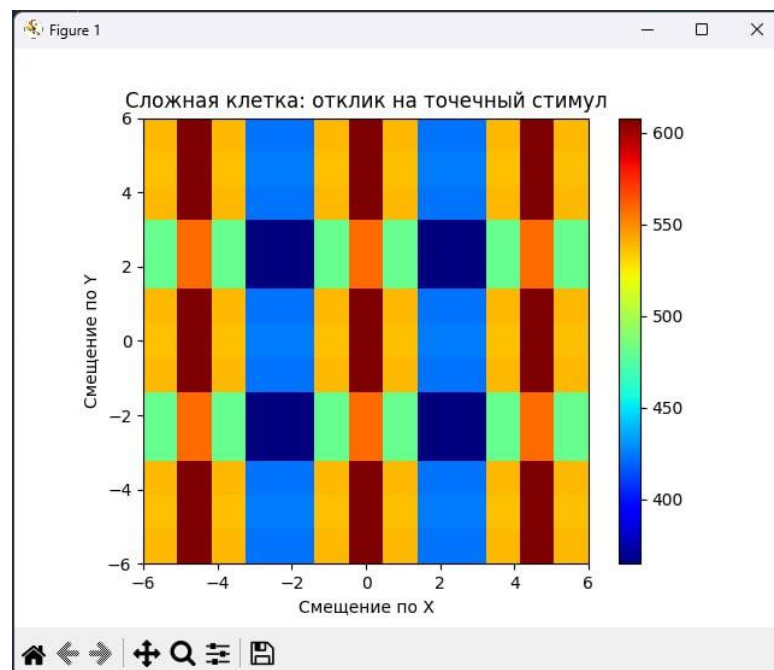


Рисунок 9 – Отклики модели сложной клетки, полученные путем помещения светового пятна в разные точки рецептивного поля

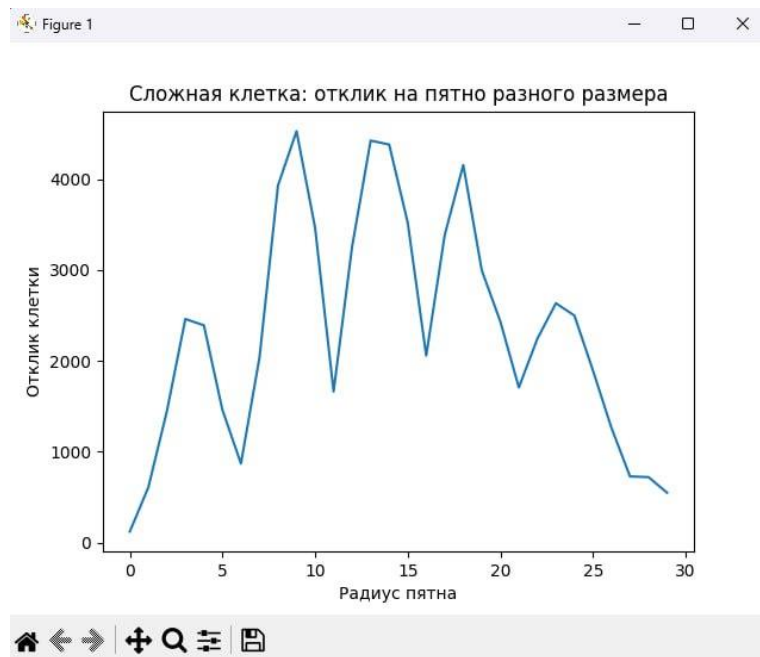


Рисунок 10 – Зависимость отклика модели сложной клетки от размера стимула (светлого пятна на тёмном фоне)

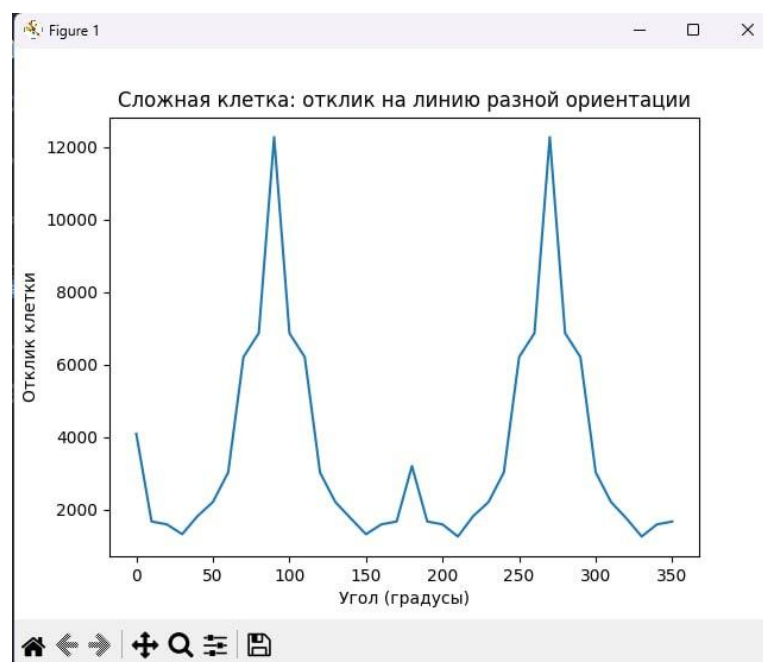


Рисунок 11 – Зависимость отклика модели сложной клетки от угла наклона линии

4. Выводы

Ганглиозные клетки способны различать светлые и тёмные области в своих рецептивных полях. В модели это отражается в различных реакциях на точечные и круговые стимулы. Простые клетки зрительной коры ответственны за распознавание ориентированных краев и линий, выполняя первичную обработку форм и контуров объектов. Сложные клетки зрительной коры реагируют на более сложные визуальные образы, объединяя информацию от нескольких простых клеток.

Приложение 1.

Листинг программы

```
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Класс для моделирования ганглиозной клетки
class GanglionicCell():
    def __init__(self, position, central_radius=5, peripheral_radius=11, isoff=False):
        self.pos = position
        self.s1 = central_radius
        self.s2 = peripheral_radius
        self.isoff = isoff

    def get_response(self, image):
        gauss_d1 = cv2.GaussianBlur(image, (self.s1, self.s1), sigmaX=0)
        gauss_d2 = cv2.GaussianBlur(image, (self.s2, self.s2), sigmaX=0)
        if self.isoff:
            laplace_response = gauss_d2 - gauss_d1
        else:
            laplace_response = gauss_d1 - gauss_d2
        v = laplace_response[self.pos[1], self.pos[0]]
        return v

# Класс для моделирования простой клетки зрительной коры
class SimpleCell():
    def __init__(self, position, orientation='vertical', size=5):
        self.ganglionic_cells = []
        self.size = size
        d = 3 # Шаг между клетками
        for i in range(-(size//2), size//2 + 1):
            for j in range(-(size//2), size//2 + 1):
                isoff = True
                if orientation == 'vertical' and i == 0:
                    isoff = False
                elif orientation == 'horizontal' and j == 0:
                    isoff = False
                elif orientation == 'diagonal' and i == j:
                    isoff = False
                pos = (position[0] + i * d, position[1] + j * d)
                self.ganglionic_cells.append(GanglionicCell(pos, isoff=isoff))

    def get_response(self, image):
        response = 0.0
        for cell in self.ganglionic_cells:
            response += cell.get_response(image)
```

```
return response
```

```
# Класс для моделирования сложной клетки зрительной коры
```

```
class ComplexCell():
```

```
    def __init__(self, positions, orientation='vertical', size=5):
```

```
        self.simple_cells = []
```

```
        for pos in positions:
```

```
            self.simple_cells.append(SimpleCell(pos, orientation, size))
```

```
    def get_response(self, image):
```

```
        response = 0.0
```

```
        for cell in self.simple_cells:
```

```
            response += abs(cell.get_response(image))
```

```
        return response
```

```
# Функции для экспериментов
```

```
def check_point_stimulus(cell):
```

```
    response_map = np.zeros((13, 13), dtype=np.float32)
```

```
    for i in range(13):
```

```
        for j in range(13):
```

```
            image = np.zeros((256, 256), dtype=np.float32)
```

```
            x = 128 + i - 6
```

```
            y = 128 + j - 6
```

```
            cv2.circle(image, center=(x, y), radius=1, color=(255, 255, 255), thickness=-1)
```

```
            v = cell.get_response(image)
```

```
            response_map[j, i] = v
```

```
    return response_map
```

```
def check_circle_stimulus(cell):
```

```
    responses = []
```

```
    radii = range(0, 30)
```

```
    for r in radii:
```

```
        image = np.zeros((256, 256), dtype=np.float32)
```

```
        cv2.circle(image, (128, 128), radius=r, color=(255, 255, 255), thickness=-1)
```

```
        v = cell.get_response(image)
```

```
        responses.append(v)
```

```
    return responses, radii
```

```
def rotate_line(cell):
```

```
    responses = []
```

```
    angles = []
```

```
    for i in range(0, 360, 10):
```

```
        angle = np.deg2rad(i)
```

```
        image = np.zeros((256, 256), dtype=np.float32)
```

```
        x0 = int(128 + 150 * np.cos(angle))
```

```
        y0 = int(128 + 150 * np.sin(angle))
```

```

        x1 = int(128 - 150 * np.cos(angle))
        y1 = int(128 - 150 * np.sin(angle))
        cv2.line(image, (x0, y0), (x1, y1), color=(255, 255, 255), thickness=3)
        v = cell.get_response(image)
        responses.append(v)
        angles.append(i)
    return responses, angles

# Функции для построения графиков
def plot_response_map(response_map, title=''):
    plt.imshow(response_map, cmap='jet', interpolation='nearest', extent=[-6, 6, -6, 6])
    plt.colorbar()
    plt.title(title)
    plt.xlabel('Смещение по X')
    plt.ylabel('Смещение по Y')
    plt.show()

def plot_responses_vs_radai(responses, radii, title=''):
    plt.plot(radii, responses)
    plt.title(title)
    plt.xlabel('Радиус пятна')
    plt.ylabel('Отклик клетки')
    plt.show()

def plot_responses_vs_angles(responses, angles, title=''):
    plt.plot(angles, responses)
    plt.title(title)
    plt.xlabel('Угол (градусы)')
    plt.ylabel('Отклик клетки')
    plt.show()

def main():
    # Инициализация ганглиозной клетки в центре изображения
    cell_pos = (128, 128)
    ganglion_cell = GanglionicCell(cell_pos)

    # Эксперимент 1: Ганглиозная клетка, отклик на точечный стимул в разных позициях
    response_map = check_point_stimulus(ganglion_cell)
    plot_response_map(response_map, 'Ганглиозная клетка: отклик на точечный стимул')

    # Эксперимент 2: Ганглиозная клетка, отклик на световое пятно разного размера
    responses, radii = check_circle_stimulus(ganglion_cell)
    plot_responses_vs_radai(responses, radii, 'Ганглиозная клетка: отклик на пятно разного размера')

    # Эксперимент 3: Ганглиозная клетка, отклик на линию разной ориентации

```

```

responses, angles = rotate_line(ganglion_cell)
plot_responses_vs_angles(responses, angles, 'Ганглиозная клетка: отклик на линию разной
ориентации')

# Инициализация простой клетки с вертикальной ориентацией
simple_cell = SimpleCell(cell_pos, orientation='vertical', size=5)

# Эксперимент 4: Простая клетка, отклик на точечный стимул в разных позициях
response_map = check_point_stimulus(simple_cell)
plot_response_map(response_map, 'Простая клетка: отклик на точечный стимул')

# Эксперимент 5: Простая клетка, отклик на световое пятно разного размера
responses, radii = check_circle_stimulus(simple_cell)
plot_responses_vs_radii(responses, radii, 'Простая клетка: отклик на пятно разного
размера')

# Эксперимент 6: Простая клетка, отклик на линию разной ориентации
responses, angles = rotate_line(simple_cell)
plot_responses_vs_angles(responses, angles, 'Простая клетка: отклик на линию разной
ориентации')

# Инициализация сложной клетки на основе нескольких простых клеток
positions = [(128 + dx, 128 + dy) for dx in range(-15, 16, 5) for dy in range(-15, 16, 5)]
complex_cell = ComplexCell(positions, orientation='vertical', size=5)

# Эксперимент 7: Сложная клетка, отклик на точечный стимул в разных позициях
response_map = check_point_stimulus(complex_cell)
plot_response_map(response_map, 'Сложная клетка: отклик на точечный стимул')

# Эксперимент 8: Сложная клетка, отклик на световое пятно разного размера
responses, radii = check_circle_stimulus(complex_cell)
plot_responses_vs_radii(responses, radii, 'Сложная клетка: отклик на пятно разного
размера')

# Эксперимент 9: Сложная клетка, отклик на линию разной ориентации
responses, angles = rotate_line(complex_cell)
plot_responses_vs_angles(responses, angles, 'Сложная клетка: отклик на линию разной
ориентации')

if __name__ == '__main__':
    main()

```