



Введение в искусственные нейронные сети

Основы обучения нейронных сетей

На этом уроке

1. Познакомимся с искусственными нейронными сетями
2. Изучим историю их появления, строение и применение
3. Узнаем, как происходит обучение нейронных сетей
4. Разберём несколько практических примеров

Оглавление

[На этом уроке](#)

[Оглавление](#)

[Общие сведения об искусственных нейронных сетях](#)

[Место искусственных нейронных сетей в современном мире](#)

[Применение нейронных сетей](#)

[Строение биологической нейронной сети](#)

[История искусственных нейронных сетей](#)

[Общие сведения о том, как происходит обучение нейронных сетей](#)

[Инициализация весов. Функции активации](#)

[Обратное распространение ошибки и градиентный спуск](#)

[Небольшой пример по обучению простой нейронной сети](#)

[Пример построения двухслойной нейронной сети на numpy](#)

[Практическое задание](#)

[Дополнительные материалы](#)

[Используемые источники](#)

Общие сведения об искусственных нейронных сетях

Искусственная нейронная сеть — это программная реализация математической модели биологической нейронной сети. Её цель — извлечь пользу из переданных ей данных. Например, сказать, что изображено на фотографии или сделать какой-либо прогноз.

Нейронные сети состоят из входных, внутренних и внешних слоёв. Внутренние слои ответственны за обучение. Входные слои позволяют ввести данные во внутренние слои, а внешние слои — вывести полезный вывод из данных. Сами слои состоят из отдельных нейронов, которые связаны с другими нейронами и по определённым алгоритмам способны усиливать с ними связь.

Через нейронные сети в процессе обучения многократно пропускают какие-либо данные, например изображения, и указывают, что на них находится. За счёт работы различных алгоритмов в нейронной сети вырабатывается система связей между нейронами, которая впоследствии при переданных ей новых данных позволяет получить ответ, что именно изображено на фотографии.

Распознавание объектов на фотографиях — далеко не единственная сфера применения нейронных сетей. Существует множество видов различных нейронных сетей для разных задач. Основные из них мы разберём на курсе.

Место искусственных нейронных сетей в современном мире

В этом разделе мы разберём, какие новшества принесли искусственные нейронные сети в современный мир. Долгое время создание искусственного интеллекта оставалось частью научной фантастики и несмотря на предсказания о скором изобретении, он был создан совсем недавно, по крайней мере, с маркетинговой точки зрения. Отчасти это произошло и с научной точки зрения — в 2014 году был пройден Тест Тьюринга. Сейчас можно говорить только о существовании специализированного искусственного интеллекта, способного выполнять определённые задачи, ранее выполнявшиеся только человеком. Т.е. создан так называемый «узкий искусственный интеллект». Создание общего искусственного интеллекта — программы, которая могла бы мыслить как человек, — по-прежнему остается фантастикой.

Искусственные нейронные сети, изучаемые на этом курсе, — основа революции в области «узкого искусственного интеллекта», они же являются одной из главных надежд для создания общего искусственного интеллекта в будущем. Искусственный интеллект может строиться не только на базе искусственных нейронных сетей, более того, такой подход долгое время считался неперспективным. Так почему же революция совершена именно благодаря им, а не другому подходу? Компьютерные

программы давно могут автоматизировать работу человека: им можно дать определённый алгоритм работы, и они будут его надёжно выполнять. Программы получают на вход данные, обрабатывают их с помощью определённого алгоритма и на выходе также выдают данные. Но рассмотрим работу на заводе: большинство задач на нём можно автоматизировать. Нетрудно составить алгоритм, например, для промышленного манипулятора, который будет переносить тяжелые предметы. С помощью технологий перевода данных, обработанных процессором движения манипулятора можно заставить его совершать полезную работу. Но как ввести данные для обработки? Как дать манипулятору понять, какой предмет нужно взять? Здесь на помощь придёт камера.

Долгое время различные алгоритмы компьютерного зрения справлялись с определёнными несложными задачами наподобие определения предметов через цвет или геометрическую форму. Но что если нужно работать с предметами разного цвета и формы, но объединёнными другими общими свойствами? Например, сортировать яблоки и груши, которые могут быть разной формы и цвета. Человеку нетрудно справиться с подобной задачей, но для искусственного интеллекта она долгое время была невыполнимой. С применением глубоких искусственных нейронных сетей (начиная с 2012 года) выполнение этой задачи стало реальностью. Нейронные сети сыграли важную роль не только в сфере распознавания образов, но и в идентификации речи. Сейчас нейронные сети могут создавать изображения, синтезировать голос и применяются во многих других сферах.

Подобный переворот случился благодаря тому, что нейронные сети стали повторять сети человеческого мозга, который как раз может легко справиться с подобной задачей. Об этом мы подробнее поговорим в разделе «Строение биологической нейронной сети». Сейчас же разберёмся, какие задачи нейронные сети могут выполнять и к решению каких проблем реального мира нужно быть готовым специалистам в этой области.

Применение нейронных сетей

В курсе мы будем проходить различные виды нейронных сетей, а также рассмотрим применение каждого вида отдельно. Сейчас же в общих чертах нарисует картину их использования.

Нейронные сети применяются в области компьютерного зрения. Начиная с обычных программ, распознающих предметы в производстве или человека перед телефоном, заканчивая крупными комплексами компьютерного зрения, которые применяются в беспилотных автомобилях.

Нейронные сети применяются для распознавания голоса: Siri, Google помощник, Alexa, Алиса и прочие голосовые помощники распознают голос человека с помощью нейронных сетей. Их применение не ограничивается идентификацией голоса (в последние годы достигнут существенный прогресс в его синтезе), они также применяются в области машинного перевода. Прогресс в этой области как раз связан с ними.

Комбинация из нескольких нейронных сетей позволяет описать содержание фотографии. Нейронные сети применяются в медицине (для анализа снимков и заключений о болезни), для анализа поведения покупателей, а также на бирже. Находят они применения и в прогнозах погоды.

Нейронным сетям находят применение и в творчестве. Уже сейчас есть художники, которые продают картины, созданные нейронными сетями.

Есть и другие интересные области применения нейронных сетей. Например, они используются для придания цвета старым фотографиям или фильмам, для улучшения качества изображений, для чтения по губам, для генерации фотографий и многого другого.

Строение биологической нейронной сети

Термин «Нейрон» был введен Г. В. Вальдейером в 1891 г. Часто можно услышать сравнение термина с транзистором. Более убедительной является точка зрения нейрофизиологов, утверждающих, что нейрон — это полноценный компьютер. Человеческий нейрон, так же как и компьютер, призван обрабатывать сигналы. То, что человеческое сознание является результатом работы нейронов, было впервые отмечено в работах Александра Бейна (1873) и Уильяма Джеймса (1890). В работах Бейна акт запоминания был впервые сформулирован как акт укрепления нейронных связей.

В нейронах мозга находятся аксоны, через которые в него попадают сигналы. У искусственных нейронов также есть подобные входы. Как нейроны мозга обладают выходным компонентом (дендритом), так и искусственные нейроны располагают ими. У нейронов человеческого мозга насчитывается порядка 10 000 связей с другими нейронами — у искусственных нейронов их также может быть много. И в биологической нейронной сети, и в искусственной в случае, если сумма поступающих сигналов в нейрон превышает определённый порог, сигнал передаётся следующему нейрону.

Искусственные нейронные сети работают подобно биологическим — через них пропускаются данные, и связи, ведущие к нужным результатам, укрепляются. Но если в человеческом мозге это происходит за счёт утолщения связей, то в программных нейронных сетях увеличиваются числа, эти связи символизирующие.

История искусственных нейронных сетей

Представление о нейронных сетях как главном способе создания искусственного интеллекта сложилось далеко не сразу, и в данном разделе мы осветим основные вехи этой технологии.

Математическая модель искусственного нейрона была предложена У. Маккалоком и У. Питтсом в 50-х годах 20 века.

В виде компьютерной системы нейронная сеть была впервые реализована в 1960 году Фрэнком Розенблаттом. Он создал «Марк-1», который являлся программно-аппаратным комплексом и воплощал в себе простую нейронную сеть в один слой (современные сети включают в себя 50 — 150 слоёв (на момент ноября 2019 г.), а экспериментальные достигают размера более 1000 слоёв).

Волна энтузиазма 60-х годов в отношении искусственных нейронных сетей сменилась скепсисом из-за трудностей в совершении определённых логических операций и невозможности получения практических результатов. Доминирующим подходом для создания искусственного интеллекта стали экспертные системы. Они являлись продвинутой энциклопедией знаний в той или иной сфере.

В 2012 г. появились глубокие нейронные сети (сети с количеством внутренних слоёв больше одного). Сначала количество слоёв таких нейронных сетей достигало 3-10, но скоро их число стало исчисляться десятками.

Именно с 2012 г. нейросети стали считаться доминирующим способом в решении многих задач искусственного интеллекта. Прорыв был обеспечен более продвинутой архитектурой, большим количеством хранимых компьютерами данных для тренировки нейронных сетей. Появилась возможность использовать видеокарты для их тренировки, — они оказались лучше приспособлены для решения подобных задач нежели классические CPU.

Общие сведения о том, как происходит обучение нейронных сетей

Возьмём какую-нибудь типичную для нейросети задачу и попробуем разобраться, как она могла бы её решить. В качестве примера определим, кто находится на фотографии — кот или собака.

Сначала подумаем, как эта задача решалась бы без нейронной сети. Вспомним, что фотография — это набор пикселей. Пиксели в компьютере представляются матрицей чисел. Если бы все коты были синего цвета, а собаки — красного, мы могли бы просто детектировать в изображении числа, ответственные за данные цвета и на основании этого делать выводы о том, кот или собака изображены на фотографии. В действительности это не так. У кота, как и у собаки, очень много отличительных черт. Перечисление этих уникальных свойств займёт долгое время, но стоит обратить внимание на то, что усики, лапки и шерстка есть у многих животных. Скорее всего всё, что нам остаётся делать, — это описывать размеры этих усиков и лапок, изучать угол их наклона и т. д.

Попытки выполнить такую задачу вручную были (как раз до эпохи нейронных сетей), но результаты не впечатляли. Как вы понимаете, объём признаков для этого слишком большой.

Задача нейронной сети содержит в себе необходимый набор признаков, которые позволяют ей отличать один объект от другого. В этом уроке мы разберём пример разработки нейронной сети, которая будет обучаться различать разновидности цветка ириса. Эти виды похожи, они состоят из одинаковых элементов, но элементы имеют разные размеры в случае каждого отдельного вида. На этом простом примере мы сможем понять принцип работы более сложных нейронных сетей. Но как поместить в нейронную сеть необходимый набор признаков? Ответ на вопрос будет даваться в течении всего курса и всё равно не будет исчерпывающим. Для этого придётся обучать нейронную сеть, а её обучение порой приобретает характер искусства, нежели набора предписаний. Тем не менее в процессе обучения всегда нужно пройти ряд общих для любого процесса обучения этапов.

Определимся с архитектурой нейронной сети. От удачно выбранной архитектуры будут зависеть следующие факторы: насколько быстро мы сможем обучить нейронную сеть, насколько точной она будет, а также сможем ли мы её обучить в принципе. Архитектура нейронной сети зависит от задачи. В зависимости от неё нужно будет выбрать:

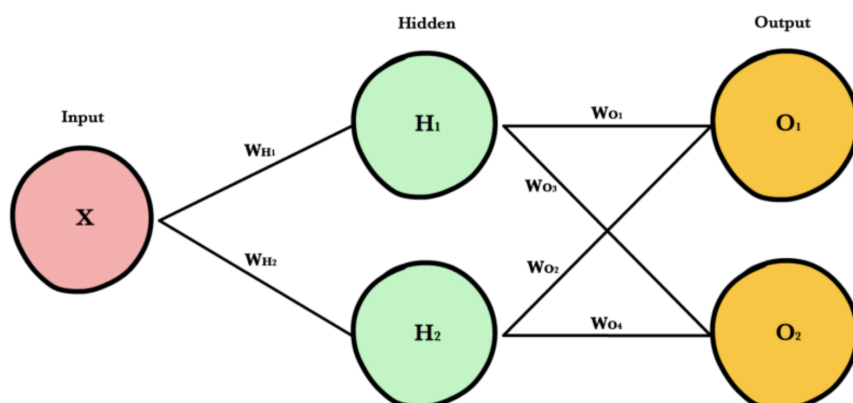
- Количество слоёв, из которых будет состоять нейронная сеть
- Сколько нейронов будет в этих слоях

Кроме этого нужно будет верным образом подобрать компоненты, за счёт которых она будет обучаться. Подробнее о них можно узнать в следующих разделах пособия:

- Система инициализации весов нейронов
- Функция активации весов нейронов
- Алгоритм корректировки весов нейронов

Список включает самые общие компоненты, с которыми нужно определиться, но на данной стадии обучения их будет достаточно. Архитектуры нейронных сетей мы будем изучать на отдельных уроках, а сегодня разберём неотъемлемые компоненты обучения нейронной сети любой архитектуры (инициализацию весов и их корректировку), рассмотрим виды функций активации весов нейронной сети, разберём, что такое градиентный спуск и метод обратного распространения ошибки.

Инициализация весов. Функции активации



Мы выяснили, что в процессе обучения нейронной сети в ней должны вырабатываться признаки, по которым она сможет определять, что находится на фотографии. Но как эти признаки будут в ней представлены? Все они будут составлять определённую сложную матрицу чисел. Настолько сложную, что человеку не под силу её проанализировать. Какие это будут признаки тоже неизвестно. Их может быть так много и они могут быть такими специфическими, что и описать их будет трудно. Для этого и нужны нейросети, они берут на себя содержание и описание в себе признаков.

Все эти признаки записываются через систему весов нейронов. Веса отражают толщину связи одного нейрона с другим. Из совокупности этих связей и состоят признаки. Обучить нейронную сеть — значит найти нужные веса для её нейронов.

Первоначально веса можно задать случайными числами, и в процессе обучения они будут всё больше и больше подходить под решения задачи. Программно это можно показать на примере следующего фрагмента кода.

```
import numpy as np

import random

# генерации случайных чисел для инициализации весов

np.random.seed(1)

synaptic_weights = 2 * np.random.random((3, 1)) - 1

# можем дополнительно посмотреть процесс формирования весов

step1 = np.random.random((3,1))

print(step1, end='\n\n')

step2 = step1 - 1

print(step2, end='\n\n')
```



```
step3 = 2 * step2

print(step3)

[[0.30233257]
 [0.14675589]
 [0.09233859]]

[[-0.69766743]
 [-0.85324411]
 [-0.90766141]]

[[-1.39533485]
 [-1.70648822]
 [-1.81532281]]
```

Но мало просто присвоить определённые веса нейронам. Необходимо также определить функцию, по которой нейроны будут активироваться. Выбранная функция активации будет одинаковой для всех нейронов. С помощью неё можно определять, с какой силой нужно подействовать на нейрон, чтобы он активировался и передал сигнал дальше.

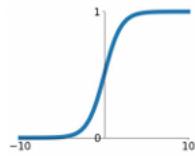
$$Y = \sum (weight * input) + bias$$

На картинке выше показан нейрон в виде формулы. Его активация зависит от входных данных, его весов и некоего порогового значения.

Таких функций существует достаточно много: сигмоида, линейная, ступенчатая, ReLu, tahn и т. д. Сейчас важнее понять их суть, изложенную выше, нежели научиться их выбирать. Тем не менее полезно знать, что для учебных целей чаще можно встретить сигмоиду, для реальных задач — ReLu.

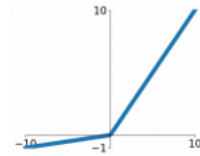
Sigmoid

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$



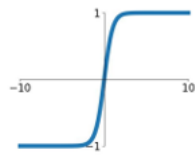
Leaky ReLU

$$\max(0.1x, x)$$



tanh

$$\tanh(x)$$

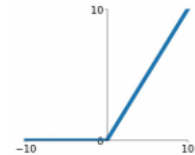


Maxout

$$\max(w_1^T x + b_1, w_2^T x + b_2)$$

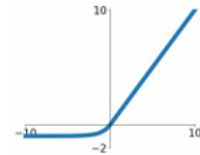
ReLU

$$\max(0, x)$$



ELU

$$\begin{cases} x & x \geq 0 \\ \alpha(e^x - 1) & x < 0 \end{cases}$$



В данном фрагменте кода мы можем посмотреть, как программно реализовать функцию сигмоид:

```
# вычисление сигмоид функции

def sigmoid(x):

    return 1 / (1 + np.exp(-x))
```

А вот как можно реализовать упомянутую выше функцию активации Relu (на Python):

```
# вычисление Relu функции

def ReLU(x):

    return x * (x > 0)
```

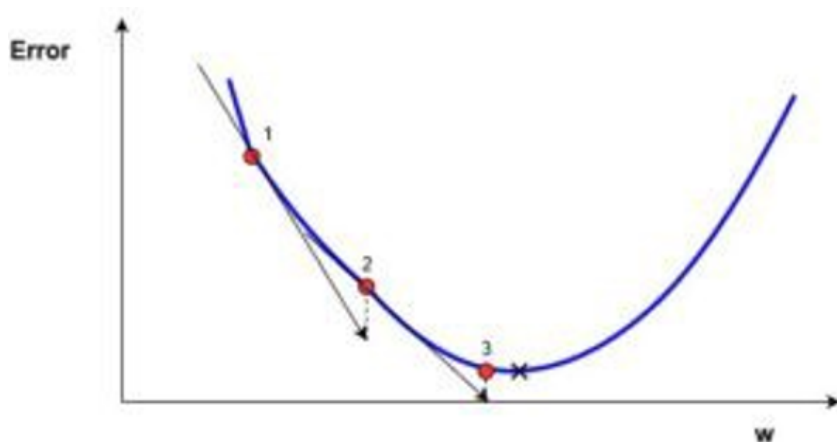
Обратное распространение ошибки и градиентный спуск

Прежде чем разбирать обратное распространение и градиентный спуск, скажем несколько слов о тех типах архитектур нейронной сети, которые будут использованы в уроке. Это простые нейронные сети. С точки зрения архитектуры их можно отнести к полносвязным нейронным сетям, так как все нейроны связаны между собой. С другой стороны, их можно отнести к нейронным сетям прямого распространения (feed forward). Сети прямого распространения подразумевают распространение сигналов от входа к выходу (в отличие от рекуррентных нейронных сетей, где во внутренних слоях сигналы могут ходить по циклу). О плюсах и минусах полносвязных сетей мы поговорим в уроке, посвящённом свёрточным нейронным сетям.

После того как на выходе нейронной сети мы получили определённое цифровое значение, необходимо сравнить его с искомым. Мы можем посчитать, насколько сильно в количественном выражении ошиблась нейросеть. Задача обратного распространения ошибки: пройти от выхода ко входу и скорректировать веса нейронов. Этот процесс происходит множество раз во время обучения.

Можно сказать, что процесс обучения нейронной сети — это попытка оптимизировать веса нейронной сети до тех пор, пока не будет достигнута минимальная степень ошибки. Для этого хорошо подходит такой алгоритм как градиентный спуск. Суть метода заключается в том, чтобы искать числовые параметры, при которых значение ошибки достигнет нуля. Градиентным он называется потому что процесс пошаговый, требующий одно вычисление за другим. Спуском он называется потому что значение ошибки должно быть как можно меньше.

Обратите внимание на следующий график: из него видно, что по шкале весов есть число, которому соответствует минимальное значение по шкале Error. Это число и нужно находить в процессе обучения.



Попробуем реализовать градиентный спуск программно.

```
'''
Исходный код к уроку 1.
Демонстрация работы градиентного спуска
'''

# первоначальная точка
start_point = 5

# размер шага (learning rate)
learn_r = 0.001

# установка первоначальной точности
precision = 0.000001

# функция градиента
gr_func = lambda x: 4 * x**3 - 9 * x**2

# количество итерация
n = 1000000
next_point = start_point

iter = 0
for i in range(n):
    current_point = next_point

    # движение в негативную сторону вычисляемого градиента
    next_point = current_point - learn_r * gr_func(current_point)
    # print(next_point)
```

```

iter += 1

# остановка когда достигнута необходимая степень точности
print(f"Итерация: {iter}")
print(f"Текущая точка {current_point} | След-я точка {next_point}")
print(f"Дистан-я между текущей точк. и след. {abs(current_point - next_point)}")
print("-----")

if abs(current_point - next_point) <= precision:
    break

print(f"минимум {next_point}, количество затраченных итераций: {iter}")

Итерация: 1

Текущая точка 5 | След-я точка 4.725

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.27500000000000036

-----

Итерация: 2

Текущая точка 4.725 | След-я точка 4.5039763125

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.2210236874999998

-----

Итерация: 3

Текущая точка 4.5039763125 | След-я точка 4.321081438125772

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.18289487437422824

-----

Итерация: 4

Текущая точка 4.321081438125772 | След-я точка 4.166398621877091

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.1546828162486804

-----

Итерация: 5

Текущая точка 4.166398621877091 | След-я точка 4.033332506384824

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.13306611549226677

-----

Итерация: 6

Текущая точка 4.033332506384824 | След-я точка 3.917289126298229

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.11604338008659543

-----

Итерация: 7

Текущая точка 3.917289126298229 | След-я точка 3.8149498920156

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.10233923428262903

-----

Итерация: 8

Текущая точка 3.8149498920156 | След-я точка 3.7238457539025154

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0911041381130846

-----

```

Итерация: 9

Текущая точка 3.7238457539025154 | След-я точка 3.6420943172773663

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.08175143662514905

Итерация: 10

Текущая точка 3.6420943172773663 | След-я точка 3.5682306224020595

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.07386369487530686

Итерация: 11

Текущая точка 3.5682306224020595 | След-я точка 3.50109435076356

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.06713627163849933

Итерация: 12

Текущая точка 3.50109435076356 | След-я точка 3.43975238577326

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0613419649903002

Итерация: 13

Текущая точка 3.43975238577326 | След-я точка 3.383444277533786

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.05630810823947385

Итерация: 14

Текущая точка 3.383444277533786 | След-я точка 3.331542979166633

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.05190129836715318

Итерация: 15

Текущая точка 3.331542979166633 | След-я точка 3.2835260243139217

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.04801695485271118

Итерация: 16

Текущая точка 3.2835260243139217 | След-я точка 3.238954002593066

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.04457202172085584

Итерация: 17

Текущая точка 3.238954002593066 | След-я точка 3.1974542368853958

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.04149976570767011

Итерация: 18

Текущая точка 3.1974542368853958 | След-я точка 3.1587082338287633

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.03874600305663245

Итерация: 19

Текущая точка 3.1587082338287633 | След-я точка 3.122441914643277

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.036266319185486395

Итерация: 20

Текущая точка 3.122441914643277 | След-я точка 3.0884179240383407

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.034023990604936216

Итерация: 21

Текущая точка 3.0884179240383407 | След-я точка 3.056429512539828

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.031988411498512725

Итерация: 22

Текущая точка 3.056429512539828 | След-я точка 3.026295624284065

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.03013388825576291

Итерация: 23

Текущая точка 3.026295624284065 | След-я точка 2.997856918427126

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.028438705856939084

Итерация: 24

Текущая точка 2.997856918427126 | След-я точка 2.9709725208658693

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.026884397561256712

Итерация: 25

Текущая точка 2.9709725208658693 | След-я точка 2.9455173525199827

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.02545516834588657

Итерация: 26

Текущая точка 2.9455173525199827 | След-я точка 2.921379916690441

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.024137435829541865

Итерация: 27

Текущая точка 2.921379916690441 | След-я точка 2.8984604548565587

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.02291946183388216

Итерация: 28

Текущая точка 2.8984604548565587 | След-я точка 2.8766694003594027

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.021791054497156015

Итерация: 29

Текущая точка 2.8766694003594027 | След-я точка 2.855926074595356

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.020743325764046805

Итерация: 30

Текущая точка 2.855926074595356 | След-я точка 2.8361575819161575

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.019768492679198335

Итерация: 31

Текущая точка 2.8361575819161575 | След-я точка 2.817297868332644

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01885971358351357

Итерация: 32

Текущая точка 2.817297868332644 | След-я точка 2.799286916020939

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01801095231170491

Итерация: 33

Текущая точка 2.799286916020939 | След-я точка 2.7820700510217713

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.017216864999167747

Итерация: 34

Текущая точка 2.7820700510217713 | След-я точка 2.7655973457663094

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01647270525546185

Итерация: 35

Текущая точка 2.7655973457663094 | След-я точка 2.749823101422856

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.015774244343453425

Итерация: 36

Текущая точка 2.749823101422856 | След-я точка 2.734705397738151

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01511770368470522

Итерация: 37

Текущая точка 2.734705397738151 | След-я точка 2.7202057001960025

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.014499697542148304

Итерация: 38

Текущая точка 2.7202057001960025 | След-я точка 2.7062885160493337

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01391718414666876

Итерация: 39

Текущая точка 2.7062885160493337 | След-я точка 2.6929210921874494

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.013367423861884387

Итерация: 40

Текущая точка 2.6929210921874494 | След-я точка 2.6800731489462257

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.012847943241223625

Итерация: 41

Текущая точка 2.6800731489462257 | След-я точка 2.66771664490757

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.012356504038655736

Итерация: 42

Текущая точка 2.66771664490757 | След-я точка 2.6558255685069785

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.011891076400591505

Итерация: 43

Текущая точка 2.6558255685069785 | След-я точка 2.644375752906599

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.011449815600379498

Итерация: 44

Текущая точка 2.644375752906599 | След-я точка 2.6333447111212904

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01103104178530856

Итерация: 45

Текущая точка 2.6333447111212904 | След-я точка 2.6227114888270373

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.01063322229425312

Итерация: 46

Текущая точка 2.6227114888270373 | След-я точка 2.6124565326507954

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.010254956176241947

Итерация: 47

Текущая точка 2.6124565326507954 | След-я точка 2.602561572051372

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.009894960599423186

Итерация: 48

Текущая точка 2.602561572051372 | След-я точка 2.593009513162676

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.009552058888696369

Итерация: 49

Текущая точка 2.593009513162676 | След-я точка 2.5837843431920287

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.009225169970647151

Итерация: 50

Текущая точка 2.5837843431920287 | След-я точка 2.5748710441540745

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.008913299037954125

Итерация: 51

Текущая точка 2.5748710441540745 | След-я точка 2.5662555148807065

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.008615529273368061

Итерация: 52

Текущая точка 2.5662555148807065 | След-я точка 2.5579245003839426

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.008331014496763878

Итерация: 53

Текущая точка 2.5579245003839426 | След-я точка 2.5498655277655877

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.008058972618354865

Итерация: 54

Текущая точка 2.5498655277655877 | След-я точка 2.542066847967901

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0077986797976867805

Итерация: 55

Текущая точка 2.542066847967901 | След-я точка 2.5345173827459155

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0075494652219854075

Итерация: 56

Текущая точка 2.5345173827459155 | След-я точка 2.527206676316691

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.007310706429224378

Итерация: 57

Текущая точка 2.527206676316691 | След-я точка 2.5201248512053507

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.007081825111340478

Итерация: 58

Текущая точка 2.5201248512053507 | След-я точка 2.5132625678637988

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.006862283341551922

Итерация: 59

Текущая точка 2.5132625678637988 | След-я точка 2.5066109876867366

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.006651580177062133

Итерация: 60

Текущая точка 2.5066109876867366 | След-я точка 2.5001617390920754

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.006449248594661228

Итерация: 61

Текущая точка 2.5001617390920754 | След-я точка 2.493906886369946

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.006254852722129556

Итерация: 62

Текущая точка 2.493906886369946 | След-я точка 2.487838901036992

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.006067985332953718

Итерация: 63

Текущая точка 2.487838901036992 | След-я точка 2.4819506354611276

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.005888265575864526

Итерация: 64

Текущая точка 2.4819506354611276 | След-я точка 2.4762352985469844

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.005715336914143165

Итерация: 65

Текущая точка 2.4762352985469844 | След-я точка 2.4706864332943463

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.005548865252638091

Итерация: 66

Текущая точка 2.4706864332943463 | След-я точка 2.465297896061318

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.005388537233028234

Итерация: 67

Текущая точка 2.465297896061318 | След-я точка 2.4600638373811994

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.005234058680118725

Итерация: 68

Текущая точка 2.4600638373811994 | След-я точка 2.4549786841972616

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.005085153183937763

Итерация: 69

Текущая точка 2.4549786841972616 | След-я точка 2.4500371233931544

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004941560804107237

Итерация: 70

Текущая точка 2.4500371233931544 | След-я точка 2.4452340865086692

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0048030368844851346

Итерация: 71

Текущая точка 2.4452340865086692 | След-я точка 2.440564735541292

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004669350967377195

Итерация: 72

Текущая точка 2.440564735541292 | След-я точка 2.4360244497434977

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004540285797794308

Итерация: 73

Текущая точка 2.4360244497434977 | След-я точка 2.431608813334255

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004415636409242918

Итерация: 74

Текущая точка 2.431608813334255 | След-я точка 2.4273136040508176

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004295209283437185

Итерация: 75

Текущая точка 2.4273136040508176 | След-я точка 2.4231347824736926

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004178821577125014

Итерация: 76
Текущая точка 2.4231347824736926 | След-я точка 2.4190684820637816
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.004066300409911072

Итерация: 77
Текущая точка 2.4190684820637816 | След-я точка 2.4151109998561906
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.003957482207590957

Итерация: 78
Текущая точка 2.4151109998561906 | След-я точка 2.4112587877601257
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0038522120960648998

Итерация: 79
Текущая точка 2.4112587877601257 | След-я точка 2.407508444418738
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0037503433413879073

Итерация: 80
Текущая точка 2.407508444418738 | След-я точка 2.4038567075867934
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0036517368319444188

Итерация: 81
Текущая точка 2.4038567075867934 | След-я точка 2.4003004469876523
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.003556260599141048

Итерация: 82
Текущая точка 2.4003004469876523 | След-я точка 2.3968366576143096
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.003463789373342685

Итерация: 83
Текущая точка 2.3968366576143096 | След-я точка 2.3934624534422118
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0033742041720978833

Итерация: 84
Текущая точка 2.3934624534422118 | След-я точка 2.390175061524239
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0032873919179725597

Итерация: 85

Текущая точка 2.390175061524239 | След-я точка 2.3869718164406755

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0032032450835637327

Итерация: 86

Текущая точка 2.3869718164406755 | След-я точка 2.3838501550791897

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.003121661361485728

Итерация: 87

Текущая точка 2.3838501550791897 | След-я точка 2.380807611721864

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0030425433573255667

Итерация: 88

Текущая точка 2.380807611721864 | След-я точка 2.377841813418124

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002965798303740108

Итерация: 89

Текущая точка 2.377841813418124 | След-я точка 2.3749504756240905

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0028913377940336105

Итерация: 90

Текущая точка 2.3749504756240905 | След-я точка 2.372131398090388

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0028190775337022522

Итерация: 91

Текущая точка 2.372131398090388 | След-я точка 2.369382460981831

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002748937108557392

Итерация: 92

Текущая точка 2.369382460981831 | След-я точка 2.3667016212136613

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002680839768169463

Итерация: 93

Текущая точка 2.3667016212136613 | След-я точка 2.3640869089901893

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002614712223472093

Итерация: 94

Текущая точка 2.3640869089901893 | След-я точка 2.361536424532719

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0025504844574704144

Итерация: 95

Текущая точка 2.361536424532719 | След-я точка 2.3590483349846334

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002488089548085437

Итерация: 96

Текущая точка 2.3590483349846334 | След-я точка 2.35662087148239

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00242746350224321

Итерация: 97

Текущая точка 2.35662087148239 | След-я точка 2.3542523263819963

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0023685451003938596

Итерация: 98

Текущая точка 2.3542523263819963 | След-я точка 2.3519410506312832

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0023112757507131043

Итерация: 99

Текущая точка 2.3519410506312832 | След-я точка 2.3496854512789893

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0022555993522939133

Итерация: 100

Текущая точка 2.3496854512789893 | След-я точка 2.347483989112291

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0022014621666981427

Итерация: 101

Текущая точка 2.347483989112291 | След-я точка 2.345335176415011

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002148812697280178

Итерация: 102

Текущая точка 2.345335176415011 | След-я точка 2.3432375748392618

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0020976015757492306

Итерация: 103

Текущая точка 2.3432375748392618 | След-я точка 2.3411897933837924

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.002047781455469355

Итерация: 104

Текущая точка 2.3411897933837924 | След-я точка 2.339190486472747

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001999306911045551

Итерация: 105

Текущая точка 2.339190486472747 | След-я точка 2.337238352128983

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001952134343763845

Итерация: 106

Текущая точка 2.337238352128983 | След-я точка 2.335332130236479

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0019062218925038898

Итерация: 107

Текущая точка 2.335332130236479 | След-я точка 2.333470600886723

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0018615293497559193

Итерация: 108

Текущая точка 2.333470600886723 | След-я точка 2.3316525828043138

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001818018082409445

Итерация: 109

Текущая точка 2.3316525828043138 | След-я точка 2.32987693184731

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001775650957003716

Итерация: 110

Текущая точка 2.32987693184731 | След-я точка 2.3281425395781596

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0017343922691503977

Итерация: 111

Текущая точка 2.3281425395781596 | След-я точка 2.3264483319012927

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001694207676866899

Итерация: 112

Текущая точка 2.3264483319012927 | След-я точка 2.324793267763728

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0016550641375645547

Итерация: 113

Текущая точка 2.324793267763728 | След-я точка 2.3231763379152595

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001616929848468729

Итерация: 114
Текущая точка 2.3231763379152595 | След-я точка 2.321596563725005
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0015797741902545681

Итерация: 115
Текущая точка 2.321596563725005 | След-я точка 2.3200529960513046
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0015435676737003412

Итерация: 116
Текущая точка 2.3200529960513046 | След-я точка 2.3185447141621345
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0015082818891700711

Итерация: 117
Текущая точка 2.3185447141621345 | След-я точка 2.3170708247033747
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001473889458759814

Итерация: 118
Текущая точка 2.3170708247033747 | След-я точка 2.3156304607124367
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0014403639909379429

Итерация: 119
Текущая точка 2.3156304607124367 | След-я точка 2.3142227806748945
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0014076800375422138

Итерация: 120
Текущая точка 2.3142227806748945 | След-я точка 2.312846967621914
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0013758130529804014

Итерация: 121
Текущая точка 2.312846967621914 | След-я точка 2.311502228266399
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0013447393555150455

Итерация: 122
Текущая точка 2.311502228266399 | След-я точка 2.310187792175895
Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0013144360905039676

Итерация: 123

Текущая точка 2.310187792175895 | След-я точка 2.3089029109804073

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0012848811954877526

Итерация: 124

Текущая точка 2.3089029109804073 | След-я точка 2.307646857613391

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0012560533670162854

Итерация: 125

Текущая точка 2.307646857613391 | След-я точка 2.3064189255842815

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0012279320291095353

Итерация: 126

Текущая точка 2.3064189255842815 | След-я точка 2.3052184282810093

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0012004973032722077

Итерация: 127

Текущая точка 2.3052184282810093 | След-я точка 2.3040446983010487

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0011737299799605694

Итерация: 128

Текущая точка 2.3040446983010487 | След-я точка 2.3028970868096144

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.001147611491434386

Итерация: 129

Текущая точка 2.3028970868096144 | След-я точка 2.3017749629237128

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0011221238859016047

Итерация: 130

Текущая точка 2.3017749629237128 | След-я точка 2.300677713120812

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0010972498029007127

Итерация: 131

Текущая точка 2.300677713120812 | След-я точка 2.299604740670971

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0010729724498408366

Итерация: 132

Текущая точка 2.299604740670971 | След-я точка 2.2985554650913262

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0010492755796449593

Итерация: 133

Текущая точка 2.2985554650913262 | След-я точка 2.2975293216218984

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0010261434694278648

Итерация: 134

Текущая точка 2.2975293216218984 | След-я точка 2.2965257607217326

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0010035609001657342

Итерация: 135

Текущая точка 2.2965257607217326 | След-я точка 2.2955442475844405

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0009815131372921115

Итерация: 136

Текущая точка 2.2955442475844405 | След-я точка 2.294584261672259

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0009599859121816046

Итерация: 137

Текущая точка 2.294584261672259 | След-я точка 2.2936452962677922

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0009389654044666962

Итерация: 138

Текущая точка 2.2936452962677922 | След-я точка 2.2927268580426414

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0009184382251508083

Итерация: 139

Текущая точка 2.2927268580426414 | След-я точка 2.2918284666421687

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0008983914004727644

Итерация: 140

Текущая точка 2.2918284666421687 | След-я точка 2.290949654285684

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0008788123564844597

Итерация: 141

Текущая точка 2.290949654285684 | След-я точка 2.290089965381376

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0008596889043079869

```
Итерация: 142

Текущая точка 2.290089965381376 | След-я точка 2.289248956155343

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0008410092260331403

-----

Итерация: 143

Текущая точка 2.289248956155343 | След-я точка 2.2884261942941144

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0008227618612286491

-----

Итерация: 144

Текущая точка 2.2884261942941144 | След-я точка 2.287621258600083

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0008049356940316166

-----

Итерация: 145

Текущая точка 2.287621258600083 | След-я точка 2.2868337386592925

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0007875199407902933

-----

Итерация: 146

Текущая точка 2.2868337386592925 | След-я точка 2.286063234521063

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0007705041382295441

-----

Итерация: 147

Текущая точка 2.286063234521063 | След-я точка 2.2853093563889457

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0007538781321172472

-----

Итерация: 148

Текущая точка 2.2853093563889457 | След-я точка 2.284571724322543

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0007376320664027602

-----

Итерация: 149

Текущая точка 2.284571724322543 | След-я точка 2.283849967949734

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0007217563728088017

-----

Итерация: 150

Текущая точка 2.283849967949734 | След-я точка 2.2831437261888827

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0007062417608514338

-----

Итерация: 151

Текущая точка 2.2831437261888827 | След-я точка 2.2824526469806097
```

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0006910792082730488

Итерация: 152

Текущая точка 2.2824526469806097 | След-я точка 2.281776387028749

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0006762599518608248

Итерация: 153

Текущая точка 2.281776387028749 | След-я точка 2.2811146115501097

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0006617754786391039

Итерация: 154

Текущая точка 2.2811146115501097 | След-я точка 2.2804669940326927

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0006476175174170429

Итерация: 155

Текущая точка 2.2804669940326927 | След-я точка 2.2798332160020207

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0006337780306719942

Итерация: 156

Текущая точка 2.2798332160020207 | След-я точка 2.279212966795265

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0006202492067557408

Итерация: 157

Текущая точка 2.279212966795265 | След-я точка 2.278605943342856

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.000607023452408928

Итерация: 158

Текущая точка 2.278605943342856 | След-я точка 2.2780118499572883

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005940933855677066

Итерация: 159

Текущая точка 2.2780118499572883 | След-я точка 2.2774303981288373

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005814518284510406

Итерация: 160

Текущая точка 2.2774303981288373 | След-я точка 2.276861306327921

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005690918009162438

Итерация: 161

Текущая точка 2.276861306327921 | След-я точка 2.2763042998138534

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005570065140676483

Итерация: 162

Текущая точка 2.2763042998138534 | След-я точка 2.275759110449743

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00054518936411041

Итерация: 163

Текущая точка 2.275759110449743 | След-я точка 2.275225476523302

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005336339264410128

Итерация: 164

Текущая точка 2.275225476523302 | След-я точка 2.2747031425733484

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005223339499536017

Итерация: 165

Текущая точка 2.2747031425733484 | След-я точка 2.2741918592217822

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005112833515661386

Итерация: 166

Текущая точка 2.2741918592217822 | След-я точка 2.2736913830108336

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0005004762109486194

Итерация: 167

Текущая точка 2.2736913830108336 | След-я точка 2.2732014762453905

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0004899067654431377

Итерация: 168

Текущая точка 2.2732014762453905 | След-я точка 2.2727219068402142

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0004795694051762389

Итерация: 169

Текущая точка 2.2727219068402142 | След-я точка 2.2722524481718684

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0004694586683458013

Итерация: 170

Текущая точка 2.2722524481718684 | След-я точка 2.2717928789351864

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00045956923668200034

Итерация: 171

Текущая точка 2.2717928789351864 | След-я точка 2.271342983004117

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00044989593106947723

Итерация: 172

Текущая точка 2.271342983004117 | След-я точка 2.2709025492967885

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0004404337073284914

Итерация: 173

Текущая точка 2.2709025492967885 | След-я точка 2.27047137164464

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00043117765214839565

Итерация: 174

Текущая точка 2.27047137164464 | След-я точка 2.2700492486654813

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00042212297915877883

Итерация: 175

Текущая точка 2.2700492486654813 | След-я точка 2.2696359836403324

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0004132650251489345

Итерация: 176

Текущая точка 2.2696359836403324 | След-я точка 2.2692313843939216

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00040459924641078615

Итерация: 177

Текущая точка 2.2692313843939216 | След-я точка 2.2688352631787083

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00039612121521326316

Итерация: 178

Текущая точка 2.2688352631787083 | След-я точка 2.2684474365623077

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00038782661640057725

Итерация: 179

Текущая точка 2.2684474365623077 | След-я точка 2.268067725318203

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003797112441046302

Итерация: 180

Текущая точка 2.268067725318203 | След-я точка 2.267695954319634

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00037177099856888773

Итерация: 181

Текущая точка 2.267695954319634 | След-я точка 2.2673319524365487

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003640018830854963

Итерация: 182

Текущая точка 2.2673319524365487 | След-я точка 2.266975524355173

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00035640000103143166

Итерация: 183

Текущая точка 2.266975524355173 | След-я точка 2.2666265908825114

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003489615530058998

Итерация: 184

Текущая точка 2.2666265908825114 | След-я точка 2.266284908048448

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003416828340632172

Итерация: 185

Текущая точка 2.266284908048448 | След-я точка 2.2659503478174092

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003345602310389495

Итерация: 186

Текущая точка 2.2659503478174092 | След-я точка 2.2656227575974466

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003275902199626479

Итерация: 187

Текущая точка 2.2656227575974466 | След-я точка 2.265301988233889

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.000320769363557627

Итерация: 188

Текущая точка 2.265301988233889 | След-я точка 2.2649878939250683

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00031409430882067824

Итерация: 189

Текущая точка 2.2649878939250683 | След-я точка 2.264680332140388

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.000307561784680388

Итерация: 190

Текущая точка 2.264680332140388 | След-я точка 2.264379163540654

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0003011685997340585

Итерация: 191

Текущая точка 2.264379163540654 | След-я точка 2.264084251900598

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00029491164005568393

Итерация: 192

Текущая точка 2.264084251900598 | След-я точка 2.2637954640335267

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00028878786707142723

Итерация: 193

Текущая точка 2.2637954640335267 | След-я точка 2.26351266971802

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00028279431550659595

Итерация: 194

Текущая точка 2.26351266971802 | След-я точка 2.263235741626623

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0002769280913970107

Итерация: 195

Текущая точка 2.263235741626623 | След-я точка 2.262964555256463

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00027118637016032565

Итерация: 196

Текущая точка 2.262964555256463 | След-я точка 2.2626989888617315

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00026556639473129806

Итерация: 197

Текущая точка 2.2626989888617315 | След-я точка 2.2624389233879802

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00026006547375123645

Итерация: 198

Текущая точка 2.2624389233879802 | След-я точка 2.262184242408163

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.000254680979817401

Итерация: 199

Текущая точка 2.262184242408163 | След-я точка 2.2619348320603785

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00024941034778436233

Итерация: 200

Текущая точка 2.2619348320603785 | След-я точка 2.261690580987262

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00024425107311643046

Итерация: 201

Текущая точка 2.261690580987262 | След-я точка 2.261451380276969

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00023920071029293055

Итерация: 202

Текущая точка 2.261451380276969 | След-я точка 2.26121712340571

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00023425687125921968

Итерация: 203

Текущая точка 2.26121712340571 | След-я точка 2.2609877061817825

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00022941722392744168

Итерация: 204

Текущая точка 2.2609877061817825 | След-я точка 2.2607630266910634

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00022467949071902638

Итерация: 205

Текущая точка 2.2607630266910634 | След-я точка 2.2605429852439114

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00022004144715204177

Итерация: 206

Текущая точка 2.2605429852439114 | След-я точка 2.2603274843234384

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00021550092047295522

Итерация: 207

Текущая точка 2.2603274843234384 | След-я точка 2.2601164285351136

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00021105578832480987

Итерация: 208

Текущая точка 2.2601164285351136 | След-я точка 2.259909724557657

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00020670397745670144

Итерация: 209

Текущая точка 2.259909724557657 | След-я точка 2.2597072810951855

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00020244346247144662

Итерация: 210

Текущая точка 2.2597072810951855 | След-я точка 2.2595090088305763

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00019827226460922276

Итерация: 211

Текущая точка 2.2595090088305763 | След-я точка 2.2593148203800104

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00019418845056584644

Итерация: 212

Текущая точка 2.2593148203800104 | След-я точка 2.2591246302486643

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00019019013134613516

Итерация: 213

Текущая точка 2.2591246302486643 | След-я точка 2.2589383547875137

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0001862754611505757

Итерация: 214

Текущая точка 2.2589383547875137 | След-я точка 2.258755912151223

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00018244263629085822

Итерация: 215

Текущая точка 2.258755912151223 | След-я точка 2.258577222257081

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0001786898941418258

Итерация: 216

Текущая точка 2.258577222257081 | След-я точка 2.2584022067449636

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00017501551211740463

Итерация: 217

Текущая точка 2.2584022067449636 | След-я точка 2.258230788938286

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00017141780667762063

Итерация: 218

Текущая точка 2.258230788938286 | След-я точка 2.2580628938059193

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00016789513236670217

Итерация: 219

Текущая точка 2.2580628938059193 | След-я точка 2.2578984479250486

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00016444588087072276

Итерация: 220

Текущая точка 2.2578984479250486 | След-я точка 2.257737379444939

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00016106848010943864

Итерация: 221

Текущая точка 2.257737379444939 | След-я точка 2.257579618051591

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00015776139334811035

Итерация: 222

Текущая точка 2.257579618051591 | След-я точка 2.257425094933255

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00015452311833596966

Итерация: 223

Текущая точка 2.257425094933255 | След-я точка 2.2572737427467886

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00015135218646644688

Итерация: 224

Текущая точка 2.2572737427467886 | След-я точка 2.257125495584825

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00014824716196359944

Итерация: 225

Текущая точка 2.257125495584825 | След-я точка 2.2569802889437383

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00014520664108674808

Итерация: 226

Текущая точка 2.2569802889437383 | След-я точка 2.256838059692378

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0001422292513604262

Итерация: 227

Текущая точка 2.256838059692378 | След-я точка 2.2566987460415557

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00013931365082209268

Итерация: 228

Текущая точка 2.2566987460415557 | След-я точка 2.256562287514264

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00013645852729160524

Итерация: 229

Текущая точка 2.256562287514264 | След-я точка 2.2564286249166035

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00013366259766067756

Итерация: 230

Текущая точка 2.2564286249166035 | След-я точка 2.256297700309404

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00013092460719965615

Итерация: 231

Текущая точка 2.256297700309404 | След-я точка 2.25616945698052

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00012824332888383694

Итерация: 232

Текущая точка 2.25616945698052 | След-я точка 2.2560438394177824

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00012561756273754554

Итерация: 233

Текущая точка 2.2560438394177824 | След-я точка 2.2559207932825864

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00012304613519598107

Итерация: 234

Текущая точка 2.2559207932825864 | След-я точка 2.255800265384106

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00012052789848038259

Итерация: 235

Текущая точка 2.255800265384106 | След-я точка 2.2556822036541093

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00011806172999673237

Итерация: 236

Текущая точка 2.2556822036541093 | След-я точка 2.2555665571223678

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00011564653174156447

Итерация: 237

Текущая точка 2.2555665571223678 | След-я точка 2.2554532758926387

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00011328122972908972

Итерация: 238

Текущая точка 2.2554532758926387 | След-я точка 2.2553423111192066

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00011096477343208733

Итерация: 239

Текущая точка 2.2553423111192066 | След-я точка 2.2552336149839727

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00010869613523389887

Итерация: 240

Текущая точка 2.2552336149839727 | След-я точка 2.2551271406740727

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.0001064743098999621

Итерация: 241

Текущая точка 2.2551271406740727 | След-я точка 2.2550228423600154

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00010429831405733836

Итерация: 242

Текущая точка 2.2550228423600154 | След-я точка 2.2549206751743243

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00010216718569111549

Итерация: 243

Текущая точка 2.2549206751743243 | След-я точка 2.254820595190671

Дистан-я между текущей точк. и след. 0.00010007998365324511

Итерация: 244

Текущая точка 2.254820595190671 | След-я точка 2.2547225594034894

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.8035787181594e-05

Итерация: 245

Текущая точка 2.2547225594034894 | След-я точка 2.254626525708056

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.603369543320639e-05

Итерация: 246

Текущая точка 2.254626525708056 | След-я точка 2.2545324528810275

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.407282702866837e-05

Итерация: 247

Текущая точка 2.2545324528810275 | След-я точка 2.2544403005614195

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.215231960801873e-05

Итерация: 248

Текущая точка 2.2544403005614195 | След-я точка 2.2543500292320227

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.027132939687377e-05

Итерация: 249

Текущая точка 2.2543500292320227 | След-я точка 2.254261600201238

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.842903078454256e-05

Итерация: 250

Текущая точка 2.254261600201238 | След-я точка 2.254174975585326

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.662461591191217e-05

Итерация: 251

Текущая точка 2.254174975585326 | След-я точка 2.2540901182910567

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.485729426954691e-05

Итерация: 252

Текущая точка 2.2540901182910567 | След-я точка 2.2540069919987498

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.312629230688984e-05

Итерация: 253

Текущая точка 2.2540069919987498 | След-я точка 2.2539255611457025

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.14308530472374e-05

Итерация: 254

Текущая точка 2.2539255611457025 | След-я точка 2.2538457909099843

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.977023571825725e-05

Итерация: 255

Текущая точка 2.2538457909099843 | След-я точка 2.2537676471945995

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.814371538472642e-05

Итерация: 256

Текущая точка 2.2537676471945995 | След-я точка 2.2536910966120023

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.655058259725678e-05

Итерация: 257

Текущая точка 2.2536910966120023 | След-я точка 2.253616106468961

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.499014304146456e-05

Итерация: 258

Текущая точка 2.253616106468961 | След-я точка 2.2535426447517564

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.346171720445938e-05

Итерация: 259

Текущая точка 2.2535426447517564 | След-я точка 2.2534706801117146

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.196464004177727e-05

Итерация: 260

Текущая точка 2.2534706801117146 | След-я точка 2.2534001818510587

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.049826065586018e-05

Итерация: 261

Текущая точка 2.2534001818510587 | След-я точка 2.2533311199090744

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.906194198430526e-05

Итерация: 262

Текущая точка 2.2533311199090744 | След-я точка 2.253263464848585

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.765506048944658e-05

Итерация: 263

Текущая точка 2.253263464848585 | След-я точка 2.253197187842724

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.627700586081531e-05

Итерация: 264

Текущая точка 2.253197187842724 | След-я точка 2.2531322606620003

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.49271807238172e-05

Итерация: 265

Текущая точка 2.2531322606620003 | След-я точка 2.2530686556616484

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.360500035196281e-05

Итерация: 266

Текущая точка 2.2530686556616484 | След-я точка 2.2530063457692577

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.2309892390644e-05

Итерация: 267

Текущая точка 2.2530063457692577 | След-я точка 2.2529453044726755

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.104129658224267e-05

Итерация: 268

Текущая точка 2.2529453044726755 | След-я точка 2.252885505808172

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.9798664503674104e-05

Итерация: 269

Текущая точка 2.252885505808172 | След-я точка 2.252826924348868

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.858145930393022e-05

Итерация: 270

Текущая точка 2.252826924348868 | След-я точка 2.2527695351934147

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.738915545316914e-05

Итерация: 271

Текущая точка 2.2527695351934147 | След-я точка 2.2527133139549216

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.6221238493137093e-05

Итерация: 272

Текущая точка 2.2527133139549216 | След-я точка 2.2526582367501247

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.5077204796916135e-05

Итерация: 273

Текущая точка 2.2526582367501247 | След-я точка 2.252604280188793

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.3956561331780506e-05

Итерация: 274

Текущая точка 2.252604280188793 | След-я точка 2.2525514213633624

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.28588254304907e-05

Итерация: 275

Текущая точка 2.2525514213633624 | След-я точка 2.2524996378388003

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.178352456214341e-05

Итерация: 276

Текущая точка 2.2524996378388003 | След-я точка 2.252448907642684

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.073019611634422e-05

Итерация: 277

Текущая точка 2.252448907642684 | След-я точка 2.2523992092554983

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.969838718560382e-05

Итерация: 278

Текущая точка 2.2523992092554983 | След-я точка 2.252350521601142

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.868765435617206e-05

Итерация: 279

Текущая точка 2.252350521601142 | След-я точка 2.2523028240376406

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.769756350153642e-05

Итерация: 280

Текущая точка 2.2523028240376406 | След-я точка 2.252256096348057

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.672768958347007e-05

Итерация: 281

Текущая точка 2.252256096348057 | След-я точка 2.252210318731602

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.577761645530032e-05

Итерация: 282

Текущая точка 2.252210318731602 | След-я точка 2.2521654717949326

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.484693666917394e-05

Итерация: 283

Текущая точка 2.2521654717949326 | След-я точка 2.2521215365436418

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.3935251290871946e-05

Итерация: 284

Текущая точка 2.2521215365436418 | След-я точка 2.2520784943739263

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.304216971551256e-05

Итерация: 285

Текущая точка 2.2520784943739263 | След-я точка 2.2520363270644372

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.216730948902736e-05

Итерация: 286

Текущая точка 2.2520363270644372 | След-я точка 2.2519950167683045

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.131029613274606e-05

Итерация: 287

Текущая точка 2.2519950167683045 | След-я точка 2.2519545460053307

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.0470762973754404e-05

Итерация: 288

Текущая точка 2.2519545460053307 | След-я точка 2.2519148976543537

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.964835097702846e-05

Итерация: 289

Текущая точка 2.2519148976543537 | След-я точка 2.251876054945772

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.884270858156569e-05

Итерация: 290

Текущая точка 2.251876054945772 | След-я точка 2.25183800145423

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.805349154228921e-05

Итерация: 291

Текущая точка 2.25183800145423 | След-я точка 2.2518007210914566

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.728036277328428e-05

Итерация: 292

Текущая точка 2.2518007210914566 | След-я точка 2.2517641980992624

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.6522992194143455e-05

Итерация: 293

Текущая точка 2.2517641980992624 | След-я точка 2.25172841704268

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.578105658252895e-05

Итерация: 294

Текущая точка 2.25172841704268 | След-я точка 2.251693362803253

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.505423942673502e-05

Итерация: 295

Текущая точка 2.251693362803253 | След-я точка 2.2516590205724683

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.434223078491172e-05

Итерация: 296

Текущая точка 2.2516590205724683 | След-я точка 2.2516253758453244

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.364472714384448e-05

Итерация: 297

Текущая точка 2.2516253758453244 | След-я точка 2.251592414414041

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.2961431283506926e-05

Итерация: 298

Текущая точка 2.251592414414041 | След-я точка 2.2515601223618984

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.229205214250186e-05

Итерация: 299

Текущая точка 2.2515601223618984 | След-я точка 2.2515284860572087

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.163630468971945e-05

Итерация: 300

Текущая точка 2.2515284860572087 | След-я точка 2.251497492147413

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.099390979555139e-05

Итерация: 301

Текущая точка 2.251497492147413 | След-я точка 2.2514671275533065

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.0364594106657705e-05

Итерация: 302

Текущая точка 2.2514671275533065 | След-я точка 2.2514373794633817

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.9748089924730436e-05

Итерация: 303

Текущая точка 2.2514373794633817 | След-я точка 2.2514082353282943

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.9144135087477707e-05

Итерация: 304

Текущая точка 2.2514082353282943 | След-я точка 2.251379682855444

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.8552472850051913e-05

Итерация: 305

Текущая точка 2.251379682855444 | След-я точка 2.25135171000367

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.797285177402742e-05

Итерация: 306

Текущая точка 2.25135171000367 | След-я точка 2.2513243049780582

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.740502561193736e-05

Итерация: 307

Текущая точка 2.2513243049780582 | След-я точка 2.251297456224856

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.684875320202451e-05

Итерация: 308

Текущая точка 2.251297456224856 | След-я точка 2.2512711524264986

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.6303798357663055e-05

Итерация: 309

Текущая точка 2.2512711524264986 | След-я точка 2.2512453824967333

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.576992976521808e-05

Итерация: 310

Текущая точка 2.2512453824967333 | След-я точка 2.2512201355758523

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.5246920881016877e-05

Итерация: 311

Текущая точка 2.2512201355758523 | След-я точка 2.251195401026021

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.4734549831428865e-05

Итерация: 312

Текущая точка 2.251195401026021 | След-я точка 2.251171168426706

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.423259931472188e-05

Итерация: 313

Текущая точка 2.251171168426706 | След-я точка 2.251147427570201

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.3740856505138908e-05

Итерация: 314

Текущая точка 2.251147427570201 | След-я точка 2.2511241684572414

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.325911295963934e-05

Итерация: 315

Текущая точка 2.2511241684572414 | След-я точка 2.2511013812927145

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.2787164526860693e-05

Итерация: 316

Текущая точка 2.2511013812927145 | След-я точка 2.2510790564814593

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.2324811255192145e-05

Итерация: 317

Текущая точка 2.2510790564814593 | След-я точка 2.2510571846241523

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.1871857307065312e-05

Итерация: 318

Текущая точка 2.2510571846241523 | След-я точка 2.251035756513279

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.1428110873245032e-05

Итерация: 319

Текущая точка 2.251035756513279 | След-я точка 2.2510147631291924

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.099338408667606e-05

Итерация: 320

Текущая точка 2.2510147631291924 | След-я точка 2.2509941956362507

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.0567492941658827e-05

Итерация: 321

Текущая точка 2.2509941956362507 | След-я точка 2.2509740453790363

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.015025721435748e-05

Итерация: 322

Текущая точка 2.2509740453790363 | След-я точка 2.2509543038786552

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.9741500381087462e-05

Итерация: 323

Текущая точка 2.2509543038786552 | След-я точка 2.25093496282911

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.934104954504079e-05

Итерация: 324

Текущая точка 2.25093496282911 | След-я точка 2.2509160140937525

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.8948735357682267e-05

Итерация: 325

Текущая точка 2.2509160140937525 | След-я точка 2.250897449701807

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.8564391945474767e-05

Итерация: 326

Текущая точка 2.250897449701807 | След-я точка 2.250879261844967

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.8187856840157224e-05

Итерация: 327

Текущая точка 2.250879261844967 | След-я точка 2.2508614428740623

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.7818970904581732e-05

Итерация: 328

Текущая точка 2.2508614428740623 | След-я точка 2.2508439852957967

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.7457578265656082e-05

Итерация: 329

Текущая точка 2.2508439852957967 | След-я точка 2.2508268817695507

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.7103526245954015e-05

Итерация: 330

Текущая точка 2.2508268817695507 | След-я точка 2.2508101251042536

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.6756665297101847e-05

Итерация: 331

Текущая точка 2.2508101251042536 | След-я точка 2.2507937082553173

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.641684893627371e-05

Итерация: 332

Текущая точка 2.2507937082553173 | След-я точка 2.250777624321637

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.6083933680466345e-05

Итерация: 333

Текущая точка 2.250777624321637 | След-я точка 2.2507618665426503

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.5757778986547066e-05

Итерация: 334

Текущая точка 2.2507618665426503 | След-я точка 2.2507464282954612

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.5438247189081267e-05

Итерация: 335

Текущая точка 2.2507464282954612 | След-я точка 2.250731303092021

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.5125203440380375e-05

Итерация: 336

Текущая точка 2.250731303092021 | След-я точка 2.250716484576367

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4818515653658437e-05

Итерация: 337

Текущая точка 2.250716484576367 | След-я точка 2.250701966521922

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4518054445300521e-05

Итерация: 338

Текущая точка 2.250701966521922 | След-я точка 2.2506877428288434

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4223693078463384e-05

Итерация: 339

Текущая точка 2.2506877428288434 | След-я точка 2.2506738075214345

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.3935307408896591e-05

Итерация: 340

Текущая точка 2.2506738075214345 | След-я точка 2.2506601547456033

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.365277583120772e-05

Итерация: 341

Текущая точка 2.2506601547456033 | След-я точка 2.250646778766377

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.3375979226459833e-05

Итерация: 342

Текущая точка 2.250646778766377 | След-я точка 2.2506336739654658

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.3104800911101222e-05

Итерация: 343

Текущая точка 2.2506336739654658 | След-я точка 2.250620834838879

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2839126586783323e-05

Итерация: 344

Текущая точка 2.250620834838879 | След-я точка 2.2506082559945884

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2578844290622726e-05

Итерация: 345

Текущая точка 2.2506082559945884 | След-я точка 2.2505959321502416

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2323844346795454e-05

Итерация: 346

Текущая точка 2.2505959321502416 | След-я точка 2.2505838581309203

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.207401932123986e-05

Итерация: 347

Текущая точка 2.2505838581309203 | След-я точка 2.2505720288669475

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1829263972806814e-05

Итерация: 348

Текущая точка 2.2505720288669475 | След-я точка 2.250560439391737

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1589475210627143e-05

Итерация: 349

Текущая точка 2.250560439391737 | След-я точка 2.2505490848396885

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1354552048370437e-05

Итерация: 350

Текущая точка 2.2505490848396885 | След-я точка 2.250537960444128

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.112439556072431e-05

Итерация: 351

Текущая точка 2.250537960444128 | След-я точка 2.2505270615352857

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0898908842094102e-05

Итерация: 352

Текущая точка 2.2505270615352857 | След-я точка 2.250516383538321

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0677996964858494e-05

Итерация: 353

Текущая точка 2.250516383538321 | След-я точка 2.2505059219713837

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0461566937181033e-05

Итерация: 354

Текущая точка 2.2505059219713837 | След-я точка 2.2504956724437184

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0249527665262548e-05

Итерация: 355

Текущая точка 2.2504956724437184 | След-я точка 2.250485630653805

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0041789913373123e-05

Итерация: 356

Текущая точка 2.250485630653805 | След-я точка 2.250475792387539

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.838266266104512e-06

Итерация: 357

Текущая точка 2.250475792387539 | След-я точка 2.250466153516449

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.63887108973438e-06

Итерация: 358

Текущая точка 2.250466153516449 | След-я точка 2.250456709995952

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.443520497143254e-06

Итерация: 359

Текущая точка 2.250456709995952 | След-я точка 2.2504474578636406

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.252132311399208e-06

Итерация: 360

Текущая точка 2.2504474578636406 | След-я точка 2.25043839323761

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.064626030674816e-06

Итерация: 361

Текущая точка 2.25043839323761 | След-я точка 2.250429512314816

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.880922794052282e-06

Итерация: 362

Текущая точка 2.250429512314816 | След-я точка 2.250420811369469

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.700945346884481e-06

Итерация: 363

Текущая точка 2.250420811369469 | След-я точка 2.2504122867514593

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.524618009708718e-06

Итерация: 364

Текущая точка 2.2504122867514593 | След-я точка 2.2504039348848153

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.351866644051853e-06

Итерация: 365

Текущая точка 2.2504039348848153 | След-я точка 2.250395752266193

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.18261862223224e-06

Итерация: 366

Текущая точка 2.250395752266193 | След-я точка 2.250387735463397

Дистан-я между текущей точк. и след. 8.016802795829392e-06

Итерация: 367

Текущая точка 2.250387735463397 | След-я точка 2.250379881113932

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.854349465041821e-06

Итерация: 368

Текущая точка 2.250379881113932 | След-я точка 2.250372185923582

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.695190350265335e-06

Итерация: 369

Текущая точка 2.250372185923582 | След-я точка 2.2503646466650205

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.539258561450879e-06

Итерация: 370

Текущая точка 2.2503646466650205 | След-я точка 2.2503572601764503

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.3864885701269145e-06

Итерация: 371

Текущая точка 2.2503572601764503 | След-я точка 2.250350023360268

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.23681618230998e-06

Итерация: 372

Текущая точка 2.250350023360268 | След-я точка 2.2503429331817566

Дистан-я между текущей точк. и след. 7.090178511415246e-06

Итерация: 373

Текущая точка 2.2503429331817566 | След-я точка 2.2503359866678077

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.946513948946631e-06

Итерация: 374

Текущая точка 2.2503359866678077 | След-я точка 2.2503291809056662

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.805762141404159e-06

Итерация: 375

Текущая точка 2.2503291809056662 | След-я точка 2.2503225130417026

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.6678639636386094e-06

Итерация: 376

Текущая точка 2.2503225130417026 | След-я точка 2.25031598028021

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.532761492650252e-06

Итерация: 377

Текущая точка 2.25031598028021 | След-я точка 2.250309579882226

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.40039798405212e-06

Итерация: 378

Текущая точка 2.250309579882226 | След-я точка 2.2503033091643774

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.27071784853328e-06

Итерация: 379

Текущая точка 2.2503033091643774 | След-я точка 2.250297165497751

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.143666626545752e-06

Итерация: 380

Текущая точка 2.250297165497751 | След-я точка 2.2502911463067843

Дистан-я между текущей точк. и след. 6.01919096654413e-06

Итерация: 381

Текущая точка 2.2502911463067843 | След-я точка 2.250285249068182

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.8972386023370404e-06

Итерация: 382

Текущая точка 2.250285249068182 | След-я точка 2.250279471309852

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.777758329994498e-06

Итерация: 383

Текущая точка 2.250279471309852 | След-я точка 2.250273810609864

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.660699987863893e-06

Итерация: 384

Текущая точка 2.250273810609864 | След-я точка 2.250268264595432

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.5460144321450855e-06

Итерация: 385

Текущая точка 2.250268264595432 | След-я точка 2.250262830941911

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.433653520903192e-06

Итерация: 386

Текущая точка 2.250262830941911 | След-я точка 2.2502575073718227

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.3235700883114134e-06

Итерация: 387

Текущая точка 2.2502575073718227 | След-я точка 2.250252291653894

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.215717928663821e-06

Итерация: 388

Текущая точка 2.250252291653894 | След-я точка 2.250247181602119

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.110051775059077e-06

Итерация: 389

Текущая точка 2.250247181602119 | След-я точка 2.2502421750748383

Дистан-я между текущей точк. и след. 5.006527280748685e-06

Итерация: 390

Текущая точка 2.2502421750748383 | След-я точка 2.250237269973838

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.9051010000411566e-06

Итерация: 391

Текущая точка 2.250237269973838 | След-я точка 2.2502324642434677

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.805730370538441e-06

Итерация: 392

Текущая точка 2.2502324642434677 | След-я точка 2.250227755869774

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.708373693596002e-06

Итерация: 393

Текущая точка 2.250227755869774 | След-я точка 2.250223142879655

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.612990119223781e-06

Итерация: 394

Текущая точка 2.250223142879655 | След-я точка 2.250218623340028

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.519539626990365e-06

Итерация: 395

Текущая точка 2.250218623340028 | След-я точка 2.2502141953570196

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.427983008259417e-06

Итерация: 396

Текущая точка 2.2502141953570196 | След-я точка 2.2502098570751667

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.338281852866999e-06

Итерация: 397

Текущая точка 2.2502098570751667 | След-я точка 2.2502056066766376

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.250398529137556e-06

Итерация: 398

Текущая точка 2.2502056066766376 | След-я точка 2.250201442380467

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.1642961705612436e-06

Итерация: 399

Текущая точка 2.250201442380467 | След-я точка 2.2501973624418072

Дистан-я между текущей точк. и след. 4.0799386598067144e-06

Итерация: 400

Текущая точка 2.2501973624418072 | След-я точка 2.250193365151195

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.997290612289817e-06

Итерация: 401

Текущая точка 2.250193365151195 | След-я точка 2.250189448833833

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.91631736196274e-06

Итерация: 402

Текущая точка 2.250189448833833 | След-я точка 2.250185611848885

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.83698494799134e-06

Итерация: 403

Текущая точка 2.250185611848885 | След-я точка 2.250181852588788

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.759260096991568e-06

Итерация: 404

Текущая точка 2.250181852588788 | След-я точка 2.2501781694785743

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.6831102137036e-06

Итерация: 405

Текущая точка 2.2501781694785743 | След-я точка 2.250174560975212

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.6085033623400875e-06

Итерация: 406

Текущая точка 2.250174560975212 | След-я точка 2.250171025566955

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.535408256816197e-06

Итерация: 407

Текущая точка 2.250171025566955 | След-я точка 2.250167561772709

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.4637942460946647e-06

Итерация: 408

Текущая точка 2.250167561772709 | След-я точка 2.2501641681414077

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.3936313013072095e-06

Итерация: 409

Текущая точка 2.2501641681414077 | След-я точка 2.2501608432514053

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.3248900024318573e-06

Итерация: 410

Текущая точка 2.2501608432514053 | След-я точка 2.2501575857098777

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.2575415276347996e-06

Итерация: 411

Текущая точка 2.2501575857098777 | След-я точка 2.250154394152238

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.1915576395036283e-06

Итерация: 412

Текущая точка 2.250154394152238 | След-я точка 2.2501512672415647

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.1269106735010155e-06

Итерация: 413

Текущая точка 2.2501512672415647 | След-я точка 2.250148203668037

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.0635735277506626e-06

Итерация: 414

Текущая точка 2.250148203668037 | След-я точка 2.250145202148388

Дистан-я между текущей точк. и след. 3.001519648826445e-06

Итерация: 415

Текущая точка 2.250145202148388 | След-я точка 2.250142261425365

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.9407230228706283e-06

Итерация: 416

Текущая точка 2.250142261425365 | След-я точка 2.2501393802672003

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.8811581649357265e-06

Итерация: 417

Текущая точка 2.2501393802672003 | След-я точка 2.250136557467095

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.8228001052177376e-06

Итерация: 418

Текущая точка 2.250136557467095 | След-я точка 2.250133791842713

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.7656243819507154e-06

Итерация: 419

Текущая точка 2.250133791842713 | След-я точка 2.250131082235684

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.709607028972272e-06

Итерация: 420

Текущая точка 2.250131082235684 | След-я точка 2.2501284275111164

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.6547245677299713e-06

Итерация: 421

Текущая точка 2.2501284275111164 | След-я точка 2.2501258265571225

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.6009539939586546e-06

Итерация: 422

Текущая точка 2.2501258265571225 | След-я точка 2.250123278284351

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.548272771463189e-06

Итерация: 423

Текущая точка 2.250123278284351 | След-я точка 2.2501207816255295

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.496658821460329e-06

Итерация: 424

Текущая точка 2.2501207816255295 | След-я точка 2.250118335535018

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.446090511476484e-06

Итерация: 425

Текущая точка 2.250118335535018 | След-я точка 2.250115938988368

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.3965466500186494e-06

Итерация: 426

Текущая точка 2.250115938988368 | След-я точка 2.250113590981894

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.3480064741399076e-06

Итерация: 427

Текущая точка 2.250113590981894 | След-я точка 2.2501112905322525

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.300449641445823e-06

Итерация: 428

Текущая точка 2.2501112905322525 | След-я точка 2.250109036676028

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.2538562243212823e-06

Итерация: 429

Текущая точка 2.250109036676028 | След-я точка 2.2501068284693315

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.2082066966078173e-06

Итерация: 430

Текущая точка 2.2501068284693315 | След-я точка 2.250104664987401

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.1634819304949815e-06

Итерация: 431

Текущая точка 2.250104664987401 | След-я точка 2.250102545324216

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.11966318497403e-06

Итерация: 432

Текущая точка 2.250102545324216 | След-я точка 2.2501004685921164

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.0767320996206706e-06

Итерация: 433

Текущая точка 2.2501004685921164 | След-я точка 2.250098433921431

Дистан-я между текущей точк. и след. 2.034670685269191e-06

Итерация: 434

Текущая точка 2.250098433921431 | След-я точка 2.250096440460112

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.9934613191274764e-06

Итерация: 435

Текущая точка 2.250096440460112 | След-я точка 2.2500944873733775

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.9530867345629588e-06

Итерация: 436

Текущая точка 2.2500944873733775 | След-я точка 2.2500925738433617

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.9135300157735458e-06

Итерация: 437

Текущая точка 2.2500925738433617 | След-я точка 2.250090699068772

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.874774589794015e-06

Итерация: 438

Текущая точка 2.250090699068772 | След-я точка 2.2500888622645525

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.8368042193905865e-06

Итерация: 439

Текущая точка 2.2500888622645525 | След-я точка 2.2500870626615557

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.7996029968436744e-06

Итерация: 440

Текущая точка 2.2500870626615557 | След-я точка 2.2500852995062184

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.7631553372865483e-06

Итерация: 441

Текущая точка 2.2500852995062184 | След-я точка 2.250083572060247

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.7274459715999058e-06

Итерация: 442

Текущая точка 2.250083572060247 | След-я точка 2.250081879600307

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.6924599397505347e-06

Итерация: 443

Текущая точка 2.250081879600307 | След-я точка 2.2500802214177216

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.6581825854622423e-06

Итерация: 444

Текущая точка 2.2500802214177216 | След-я точка 2.250078596818172

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.6245995495545174e-06

Итерация: 445

Текущая точка 2.250078596818172 | След-я точка 2.250077005121408

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.5916967641693702e-06

Итерация: 446

Текущая точка 2.250077005121408 | След-я точка 2.2500754456609613

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.559460446554084e-06

Итерация: 447

Текущая точка 2.2500754456609613 | След-я точка 2.2500739177838684

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.5278770928439656e-06

Итерация: 448

Текущая точка 2.2500739177838684 | След-я точка 2.2500724208503944

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4969334740655427e-06

Итерация: 449

Текущая точка 2.2500724208503944 | След-я точка 2.2500709542337662

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4666166281429582e-06

Итерация: 450

Текущая точка 2.2500709542337662 | След-я точка 2.25006951731991

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4369138563452566e-06

Итерация: 451

Текущая точка 2.25006951731991 | След-я точка 2.2500681095071924

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.4078127175132238e-06

Итерация: 452

Текущая точка 2.2500681095071924 | След-я точка 2.25006673020617

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.3793010222862279e-06

Итерация: 453

Текущая точка 2.25006673020617 | След-я точка 2.2500653788393414

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.3513668286613267e-06

Итерация: 454

Текущая точка 2.2500653788393414 | След-я точка 2.2500640548409048

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.3239984366641977e-06

Итерация: 455

Текущая точка 2.2500640548409048 | След-я точка 2.250062757656521

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2971843839082453e-06

Итерация: 456

Текущая точка 2.250062757656521 | След-я точка 2.250061486743082

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2709134389332633e-06

Итерация: 457

Текущая точка 2.250061486743082 | След-я точка 2.2500602415684825

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2451745994290775e-06

Итерация: 458

Текущая точка 2.2500602415684825 | След-я точка 2.250059021611397

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.2199570855742081e-06

Итерация: 459

Текущая точка 2.250059021611397 | След-я точка 2.2500578263610613

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1952503355949773e-06

Итерация: 460

Текущая точка 2.2500578263610613 | След-я точка 2.250056655317059

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1710440022127955e-06

Итерация: 461

Текущая точка 2.250056655317059 | След-я точка 2.250055507989111

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1473279482032694e-06

Итерация: 462

Текущая точка 2.250055507989111 | След-я точка 2.2500543838968703

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1240922406230425e-06

Итерация: 463

Текущая точка 2.2500543838968703 | След-я точка 2.2500532825697213

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.1013271490334375e-06

Итерация: 464

Текущая точка 2.2500532825697213 | След-я точка 2.250052203546581

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0790231401713868e-06

```
Итерация: 465

Текущая точка 2.250052203546581| След-я точка 2.2500511463757085

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.057170872620361e-06

-----

Итерация: 466

Текущая точка 2.2500511463757085| След-я точка 2.2500501106145125

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0357611959221913e-06

-----

Итерация: 467

Текущая точка 2.2500501106145125| След-я точка 2.2500490958293686

Дистан-я между текущей точк. и след. 1.0147851439157307e-06

-----

Итерация: 468

Текущая точка 2.2500490958293686| След-я точка 2.250048101595436

Дистан-я между текущей точк. и след. 9.942339325164085e-07

-----

минимум 2.250048101595436, количество затраченных итераций: 468
```

Метод обратного распространения (backpropagation) — самый популярный способ обучения нейронных сетей, у него есть несколько альтернатив: метод упругого распространения (Resilient propagation или Rprop) и генетический алгоритм (Genetic Algorithm). Rprop использует для корректировки весов и смещений знак градиента, а не его значение, а генетический алгоритм для задач оптимизации и моделирования использует случайный подбор.

Небольшой пример по обучению простой нейронной сети

Рассмотрим создание простой нейронной сети: она будет обучаться предсказывать четвёртое число на основании первых трёх. Для этого мы передадим обучающий набор данных из трёх последовательностей чисел. В каждой последовательности чисел будет три первых числа в качестве входных данных и четвёртое число, следующее за ними. После обучения нейронной сети мы попросим пользователя ввести 3 числа, и программа выдаст 4 в качестве предсказания.

В данном примере будут использоваться следующие обучающие последовательности:

Данные 1| 0 0 1 0

Данные 2| 1 1 1 1

Данные 3| 1 0 1 1

Данные 4| 0 1 1 0

Здесь можно заметить, что четвёртое число всегда соответствует первому. Эту закономерность и должна научиться обнаруживать нейронная сеть благодаря коду ниже, а затем на произвольных данных, введенных пользователем, выдать правильное предсказание. Этот пример позволяет создать и запустить простейшую нейронную сеть, но уже в нём присутствуют все необходимые атрибуты их создания: подготовка данных для обучения модели, конфигурация модели, запуск модели. Дальше мы разберём, что такое функция активации, обратное распространение, внутренние слои нейронной сети и прочие аспекты создания нейронных сетей. Обратите внимание, что для получения дополнительных команд при работе с массивами здесь используется библиотека `numpy`. Более подробно данную библиотеку мы рассмотрим позже.

```
'''
Исходный код к уроку 1.
Пример простой нейронной сети на numpy
'''

import numpy as np

# генерации случайных чисел для инициализации весов
np.random.seed(1)
synaptic_weights = 2 * np.random.random((3, 1)) - 1

# вычисление сигмоид функции
def sigmoid(x):
    return 1 / (1 + np.exp(-x))

# вычисление производной от сигмоид функции
def sigmoid_deriv(x):
    return x * (1 - x)

# тренировка нейронной сети
def train_nn(training_inputs, training_outputs, training_iterations):
    global synaptic_weights
    for iteration in range(training_iterations):
```

```

# перекачивание данных через нейрон

output = run_nn(training_inputs)

# вычисление ошибки через обратное распространение back-propagation

error = training_outputs - output

# выполнение корректировки весов

adjustments = np.dot(training_inputs.T, error * sigm_deriv(output))

synaptic_weights += adjustments

# пропускание входных данных через нейрон и получение предсказания
# конвертация значений во floats
def run_nn(inputs):
    global synaptic_weights

    inputs = inputs.astype(float)

    output = sigmoid(np.dot(inputs, synaptic_weights))

    return output

# создание данных для обучения

training_inputs = np.array([[0,0,1], [1,1,1], [1,0,1], [0,1,1]])
training_outputs = np.array([[0,1,1,0]]).T

# запуск тренировки нейронной сети

train_nn(training_inputs, training_outputs, 15000)

print("веса после завершения обучения: ")

print(synaptic_weights)

# получение трех чисел от пользователя

user_inp1 = str(input("Первое число(0 или 1): "))
user_inp2 = str(input("Второе число(0 или 1): "))
user_inp3 = str(input("Третье число(0 или 1): "))

print("Проверка на новых данных: {user_inp1} {user_inp2} {user_inp3}")

print("Предсказание нейронной сети: ")

print(run_nn(np.array([user_inp1, user_inp2, user_inp3])))

веса после завершения обучения:

```

```
[10.08740896]

[-0.20695366]

[-4.83757835]]

Первое число(0 или 1): 0

Второе число(0 или 1): 0

Третье число(0 или 1): 1

Проверка на новых данных: {user_inp1} {user_inp2} {user_inp3}

Предсказание нейронной сети:

[0.00786389]
```

Пример построения двухслойной нейронной сети на numpy

```
'''
Исходный код к уроку 1.

Построение двухслойной нейронной сети для классификации цветков ириса
'''

import numpy as np

import pandas as pd

import seaborn as sns

import matplotlib.pyplot as plt

import warnings

warnings.simplefilter(action='ignore', category=FutureWarning)

# sklearn здесь только, чтобы разделить выборку на тренировочную и тестовую
from sklearn.model_selection import train_test_split

### Шаг 1. Определение функций, которые понадобятся для обучения

# преобразование массива в бинарный вид результатов

def to_one_hot(Y):

    n_col = np.amax(Y) + 1

    binarized = np.zeros((len(Y), n_col))
```



```

    for i in range(len(Y)):
        binarized[i, Y[i]] = 1.

    return binarized

# преобразование массива в необходимый вид
def from_one_hot(Y):
    arr = np.zeros((len(Y), 1))

    for i in range(len(Y)):
        l = layer2[i]

        for j in range(len(l)):
            if l[j] == 1:
                arr[i] = j+1

    return arr

# сигмоида и ее производная
def sigmoid(x):
    return 1/(1+np.exp(-x))

def sigmoid_deriv(x):
    return sigmoid(x)*(1 - sigmoid(x))

# нормализация массива
def normalize(X, axis=-1, order=2):
    l2 = np.atleast_1d(np.linalg.norm(X, order, axis))
    l2[l2 == 0] = 1

    return X / np.expand_dims(l2, axis)

### Шаг 2. Подготовка тренировочных данных
# получения данных из csv файла. укажите здесь путь к файлу Iris.csv
iris_data = pd.read_csv("lesson_source/Iris.csv")

# print(iris_data.head()) # прокомментируйте, чтобы посмотреть структуру данных

# репрезентация данных в виде графиков
g = sns.pairplot(iris_data.drop("Id", axis=1), hue="Species")

# plt.show() # прокомментируйте, чтобы посмотреть

```

```

# замена текстовых значений на цифровые

iris_data['Species'].replace(['Iris-setosa', 'Iris-virginica', 'Iris-versicolor'], [0, 1, 2], inplace=True)

# формирование входных данных

columns = ['SepalLengthCm', 'SepalWidthCm', 'PetalLengthCm', 'PetalWidthCm']

x = pd.DataFrame(iris_data, columns=columns)

x = normalize(x.as_matrix())

# формирование выходных данных (результатов)

columns = ['Species']

y = pd.DataFrame(iris_data, columns=columns)

y = y.as_matrix()

y = y.flatten()

y = to_one_hot(y)

# Разделение данных на тренировочные и тестовые

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(x, y, test_size=0.33)

### Шаг 3. Обучение нейронной сети

# присваивание случайных весов

w0 = 2*np.random.random((4, 5)) - 1 # для входного слоя - 4 входа, 3 выхода

w1 = 2*np.random.random((5, 3)) - 1 # для внутреннего слоя - 5 входов, 3 выхода

# скорость обучения (learning rate)

n = 0.1

# массив для ошибок, чтобы потом построить график

errors = []

# процесс обучения

for i in range(100000):

    # прямое распространение (feed forward)

    layer0 = X_train

    layer1 = sigmoid(np.dot(layer0, w0))

    layer2 = sigmoid(np.dot(layer1, w1))

    # обратное распространение (back propagation) с использованием градиентного спуска

```

```

layer2_error = y_train - layer2

layer2_delta = layer2_error * sigmoid_deriv(layer2)

layer1_error = layer2_delta.dot(w1.T)
layer1_delta = layer1_error * sigmoid_deriv(layer1)

w1 += layer1.T.dot(layer2_delta) * n
w0 += layer0.T.dot(layer1_delta) * n

error = np.mean(np.abs(layer2_error))
errors.append(error)

accuracy = (1 - error) * 100

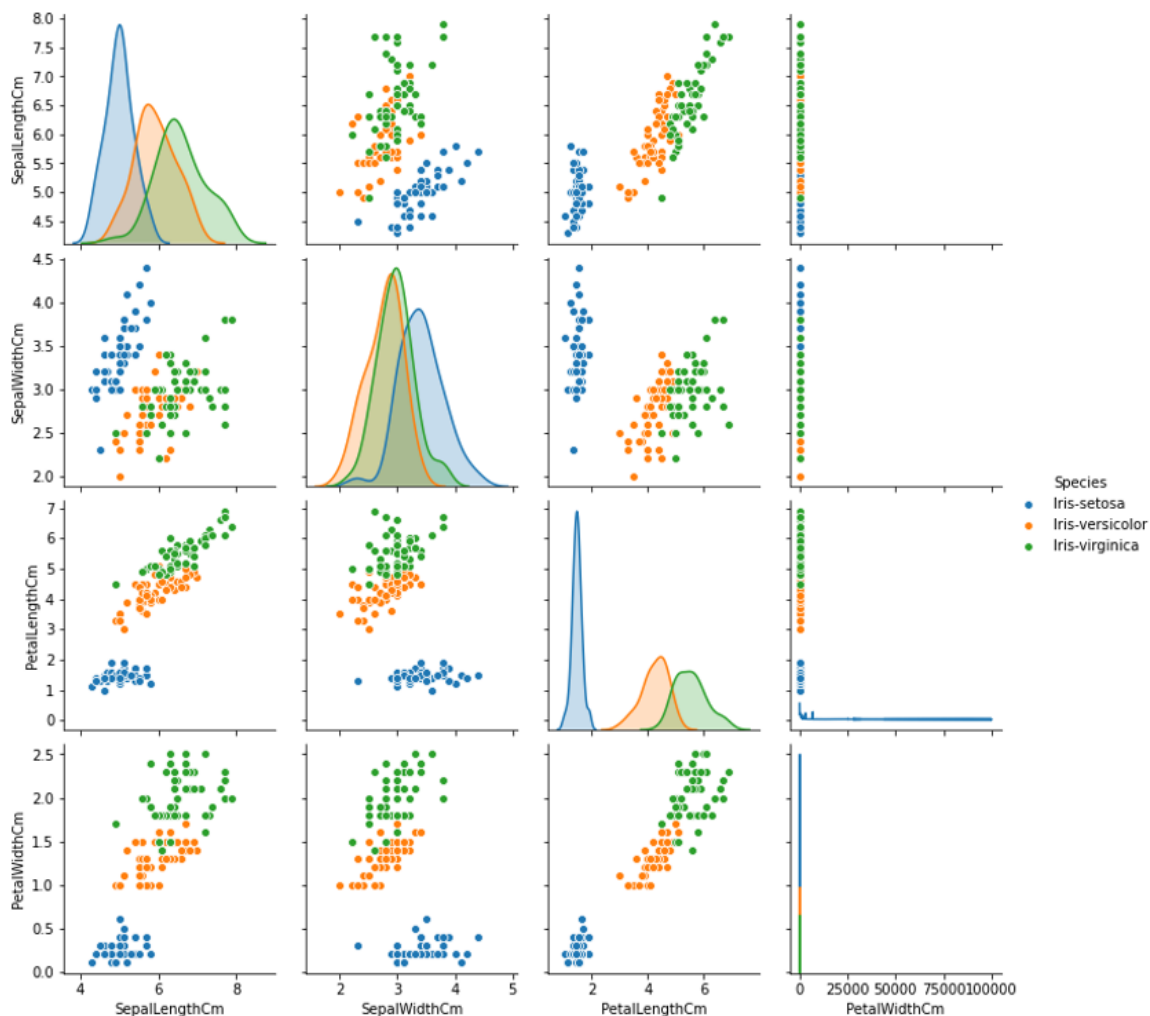
### Шаг 4. Демонстрация полученных результатов
# черчение диаграммы точности в зависимости от обучения
plt.plot(errors)

plt.xlabel('Обучение')
plt.ylabel('Ошибка')

plt.show() # прокомментируйте, чтобы посмотреть

print("Точность нейронной сети " + str(round(accuracy,2)) + "%")

```



Точность нейронной сети: 97.28%

Практическое задание

Попробуйте видоизменить параметры разобранной на уроке двухслойной нейронной сети таким образом, чтобы улучшить её точность. Проведите анализ — что приводит к ухудшению точности нейронной сети? Что приводит к увеличению её точности?

Дополнительные материалы

1. <https://medium.com/topic/machine-learning>

Используемые источники

1. Глубокое обучение — Николенко С. И., Кадуринов 2018
2. Шакла Н. — Машинное обучение и TensorFlow 2019

3. Asifullah Khan, Anabia Sohail, Umme Zahoora, Aqsa Saeed Qureshi - A Survey of the Recent Architectures of Deep Convolutional Neural Networks 2019
4. A direct adaptive method for faster backpropagation learning: the RPROP algorithm - Neural Networks, 1993