

Визуализация математических данных в Python

2018

План

Введение

Диаграммы и графики

- Векторизация функций

- Двумерные графики

- Графики в изометрии

- Интерактивные графики

- Гистограмма

- Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Outline

Введение

Диаграммы и графики

- Векторизация функций

- Двумерные графики

- Графики в изометрии

- Интерактивные графики

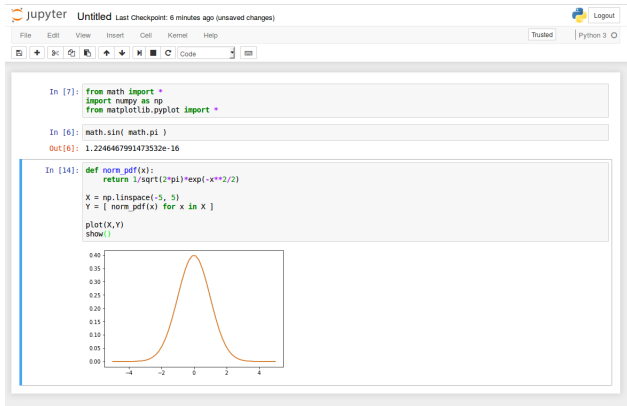
- Гистограмма

- Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература



Для экспериментов с визуализацией (и не только) хорошо подходит Jupyter - интерактивная оболочка для Python, которая позволяет хранить код, результат работы программы, изображения, графики, latex в одном месте.

Использовать Jupyter можно и без установки, на сайте проекта есть¹ онлайн-версия: <http://jupyter.org/try>

Jupyter входит в дистрибутив **Anaconda**.

Помимо Jupyter туда входят популярные математические пакеты для Python, не включенные в стандартную библиотеку языка.

Доклад: как использовать Jupyter на 100%
<https://www.youtube.com/watch?v=q4d-hKCpTEc>

¹бывает недоступен во время высокой загрузки сервера

Некоторые горячие клавиши Jupyter:

- ▶ `Ctrl+Enter` - выполнить текущую ячейку
- ▶ `Shift+Enter` - выполнить текущую ячейку и перейти (добавить) следующую
- ▶ `Esc` - перейти в режим выделения ячеек
- ▶ `Enter` - перейти в режим редактирования выделенной ячейки
- ▶ `D,D` - (в режиме выделения) удалить текущую ячейку

При работе могут быть полезны следующие команды (jupyter magic)

`%ls` - показать содержимое текущего каталога

`%load имя`

Некоторые популярные пакеты для визуализации данных

- ▶ **matplotlib** - построение графиков и диаграмм;
- ▶ **seaborn** - визуализация статистических данных, эстетичнее чем matplotlib;
- ▶ **mpld3** - использование D3.js для построения интерактивных matplotlib графиков в окне браузера;
- ▶ **pandas** - анализ данных: статистики, регрессия, визуализация и т.п.

Outline

Введение

Диаграммы и графики

- Векторизация функций

- Двумерные графики

- Графики в изометрии

- Интерактивные графики

- Гистограмма

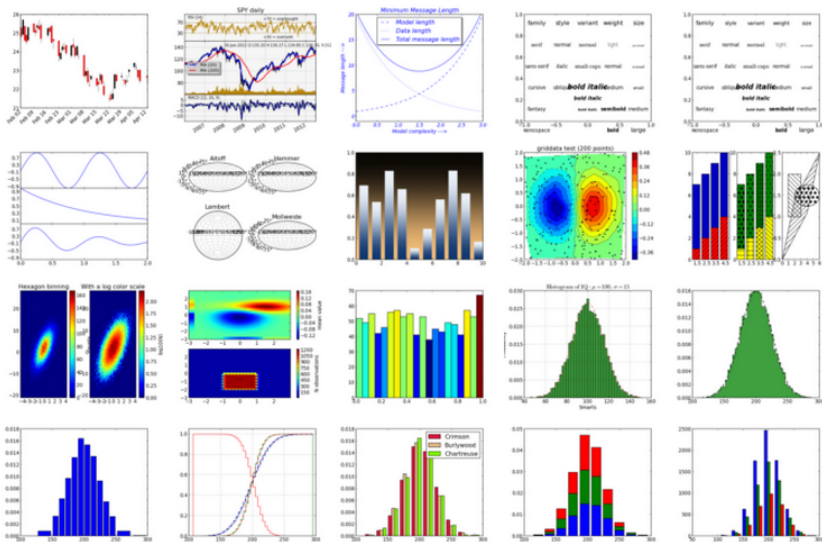
- Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Пакет matplotlib



Пакет matplotlib

Пакет **matplotlib** содержит модули предназначенные для построения диаграмм и графиков.

Модуль **pyplot** из этого пакета предназначен непосредственно для построения графиков. Этого модуля будет достаточно для построения относительно простых графиков.

Остальные модули пакета matplotlib содержат преимущественно функции для гибкой настройки вида графиков, осей, подписей к осям, компоновки нескольких графиков на одном листе и т.п.

Пакет matplotlib

```
from matplotlib.pyplot import plot
```

Дополнительно можно подключить модуль seaborn. Тогда графики станут эстетичнее

```
import seaborn
```

По умолчанию графики будут показаны непосредственно в блокноте Jupyter. Если это не так, то используется команда jupyter:

```
%matplotlib inline
```

Создание графика

plot - функция с переменным числом параметров. Если некоторые параметры не указаны, то им задаётся значение по-умолчанию.

- ▶ **plot(list_of_y)** - создаёт график в памяти программы `list_of_y` - список ординат (значений y).

Здесь в качестве абсцисс (значений x) используются числа 0, 1, 2 и так далее до последнего индекса `y_list`

- ▶ **plot(x-list, y-list)**

x-list - список абсцисс (значений x).

y-list - список ординат (значений y).

Длины списков x-list и y-list должны быть одинаковы.

Пакет matplotlib

Дополнительные параметры

- ▶ `plot(x-list, y-list, style)`

`style` - стиль графика. Определяет цвет, вид кривой и точек

- ▶ - прямая линия
- ▶ - - пунктирная линия
- ▶ . только точки
- ▶ **v** треугольники вместо точек

Цвета

- ▶ **'b'** blue
- ▶ **'g'** green
- ▶ **'r'** red
- ▶ **'k'** black

Дополнительную информацию о стилях см. в документации: `help(plot)`

Пакет matplotlib

Дополнительные параметры

- ▶ **plot(x-list, y-list, style, label)**
label - подпись к графику. По-умолчанию не показывается.
- ▶ **plot(x-list, y-list, style, label, linewidth)**
linewidth - толщина линии. По-умолчанию - 1.

Пакет matplotlib

```
from matplotlib.pyplot import grid, xlabel, ylabel, legend
```

- ▶ **grid(True)** - "включает" координатную сетку.
Шаг сетки выбирается автоматически.
- ▶ **xlabel("подпись")** - добавляет название для оси x
- ▶ **ylabel("подпись")** - добавляет название для оси y
- ▶ **legend(loc)** - добавляет к графикам пояснения (легенду)
loc - положение блока с пояснениями. По-умолчанию - справа сверху.

Для автоматического выбора положения следует задать параметр `loc = 'best'`

Пакет matplotlib

```
from matplotlib.pyplot import show, savefig
```

- ▶ **show()** - создаёт и показывает окно содержащие построенные функциями `plot()` графики.
Оси координат строятся автоматически, масштаб выбирается в зависимости от ширины и высоты графика.
- ▶ **savefig(filename [, dpi])** - сохраняет изображение графика в файл. Графический формат определяется по расширению файла.
filename - имя файла
dpi - количество точек на дюйм (DPI)

Пакет matplotlib

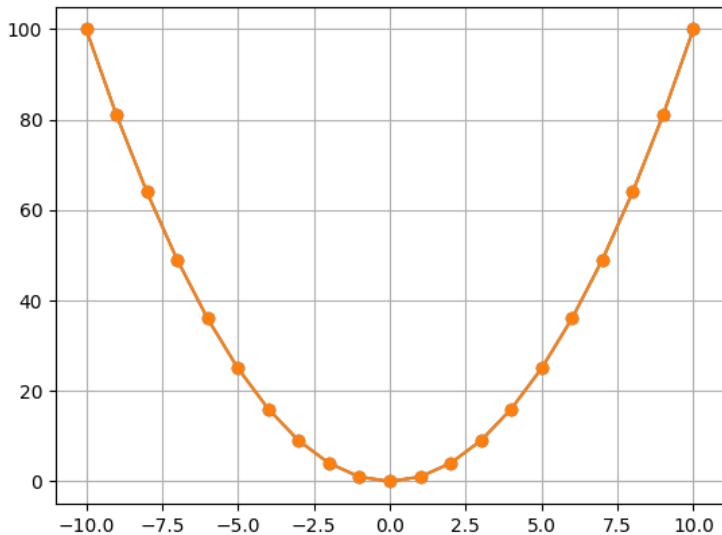
Типичный алгоритм построения графика

1. Создать графики
2. Настроить оформление графика
3. Показать или сохранить график

Примитивный пример

```
X = list(range(-10,11))  
Y = [x**2 for x in X]  
plot(X,Y, '-o')  
grid(True)  
show()
```

Примитивный пример



numpy linspace и arange

Для создания набора значений лучше использовать функции `linspace` и `arange` пакета `numpy`.

```
# разделить отрезок [-10, 10] на 100 точек  
# x будет иметь тип numpy array  
x1 = np.linspace(-10, 10, 100) -> numpy array
```

```
# разделить отрезок [-10, 10] на части с шагом 0.5  
# правая граница не включается  
x2 = np.arange(-10, 10.5, 0.5) -> numpy array
```

```
# numpy array даёт возможность применять функцию  
# ко всем элементам массива (  
y = sin(x1) # -> numpy array  
# теперь y массив синусов икса
```

Пример получше

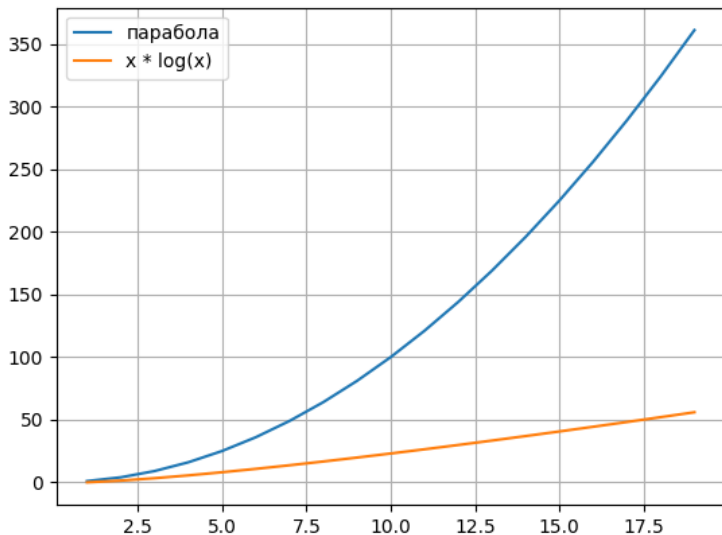
```
...  
import numpy as np  
  
# разделить отрезок [-10, 10] на 100 точек  
# x будет иметь тип numpy array  
x = np.linspace(-10, 10, 100)  
  
# над целым numpy array можно производить операции  
# как если бы это было отдельное значение  
# в результате y будет массивом квадратов  
y = x**2  
plot(X,Y)  
grid(True)  
show()
```

Пакет matplotlib

На одном поле можно построить несколько графиков. Чтобы их различать стоит указать для них названия. Для этого будем явно задавать имя параметра: **label**

```
X = np.linspace(1,20, 100)
Y1 = X**2
Y2 = X * np.log(X)  #
plot(X,Y1, label = 'парабола')
plot(X,Y2, label = 'x * log(x)')
legend()
grid(True)
show()
```

Пакет matplotlib



Добавление дополнительных элементов на график

- ▶ Заголовок

```
title('1a TITLE')
```

- ▶ Текст

```
text(x,y, 'текст')
```

Пакет matplotlib

Matplotlib и Jupyter

По-умолчанию графики построенные в Jupyter будут показаны в ячейке вывода.

Чтобы показать их в отдельном окне, с возможностью масштабирования и перемещения следует перед построением графиков выполнить в Jupyter команду:

```
%matplotlib
```

Чтобы вернуть построение графиков в блокнот нужно выполнить команду

```
%matplotlib inline
```

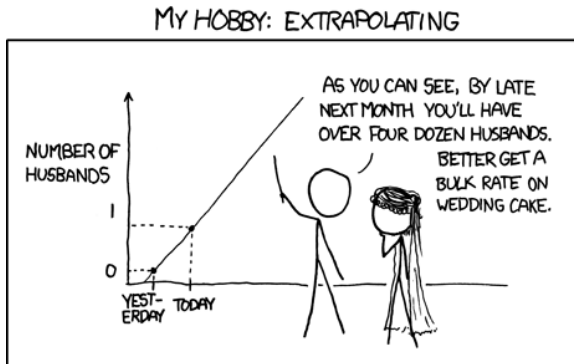
Пакет matplotlib

Ещё примеры и документация

matplotlib.org/tutorials/introductory/pyplot.html

Бонус

Вызов функции `hkcd()` делает стиль графиков похожим на стиль веб-комикса `hkcd`



Outline

Введение

Диаграммы и графики

- Векторизация функций

- Двумерные графики

- Графики в изометрии

- Интерактивные графики

- Гистограмма

- Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Векторизация функций

Для построение трёхмерных графиков не удобно пользоваться скалярными функциями, вручную вычисляя значения для каждого значения аргумента.

Класс **vectorize** пакета `numpy` может быть использован для "векторизации" функции. Такая функция может принимать в качестве параметра `array` и возвращать `array`.

```
from math import *  
import numpy as np  
  
def foo(x):  
    return x*sin(x)  
  
foo = np.vectorize(foo)
```

Векторизация функций

```
from math import *
from matplotlib.pyplot import *
import numpy as np

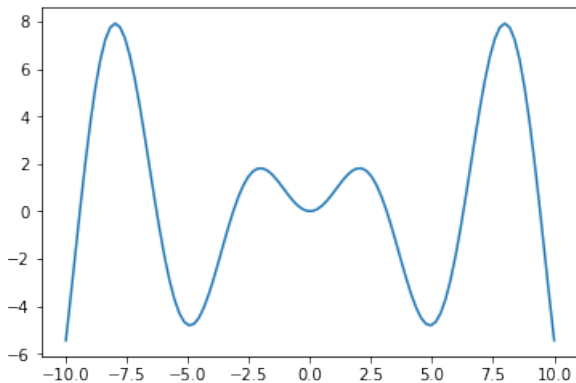
def foo(x):
    return x*sin(x)

foo = np.vectorize(foo)

# создание array из 100 точек отрезка [-10, 10]
x = np.linspace(-10, 10, 100)
y = foo(x)

plot(x,y)
show()
```

Векторизация функций



Векторизация функций

Вместо обычных функций можно использовать
лямбда-функции

```
from math import *  
import numpy as np  
  
foo = np.vectorize(lambda x: x*sin(x))
```

Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Пример

Тепловая карта с линиями уровня

```
from matplotlib.pyplot import *
import numpy as np
from math import *

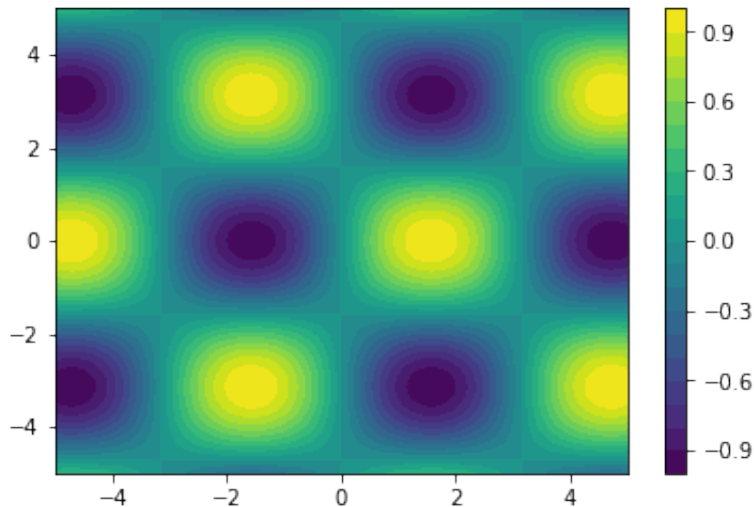
X = np.linspace(-5, 5, 100)
Y = np.linspace(-5, 5, 100)

# создание сетки (декартового произведения X и Y)
xx,yy = np.meshgrid( X, Y)

foo = np.vectorize(lambda x,y: sin(x)*cos(y))
zz = foo(xx,yy)

contourf(xx, yy, zz, 20)
colorbar()
show()
```

Пример



Ещё примеры:

jakevdp.github.io/PythonDataScienceHandbook/04.04-density-and-contour-plots.html

Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Графики в изометрии

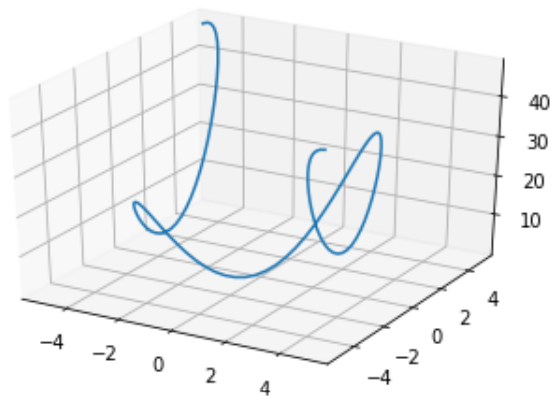
```
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import numpy as np

fig = plt.figure()
ax = fig.gca(projection='3d')

x = np.linspace(-5, 5, 100)
y = np.sin(x)*5
z = x**2 + y**2

ax.plot(x, y, z, antialiased=True)

plt.show()
```



Графики в изометрии

График кривой в пространстве

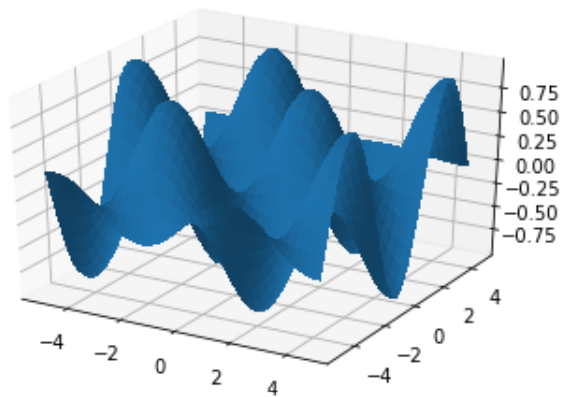
```
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from math import *
```

```
fig = plt.figure()
ax = fig.gca(projection='3d')
```

```
X = np.arange(-5, 5, 0.25)
Y = np.arange(-5, 5, 0.25)
X, Y = np.meshgrid(X, Y)
```

```
foo = np.vectorize(lambda x, y: sin(x) * cos(y))
Z = foo(X,Y)
```

```
ax.plot_surface(X, Y, Z, antialiased=False)
plt.show()
```



Графики в изометрии

Дополнительно можно раскрасить поверхность как тепловую карту, изобразить сетку вместо поверхности и настроить другие параметры отображения.

Документации matplotlib с примерами:
matplotlib.org/mpl_toolkits/mplot3d/tutorial.html

Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

plot.ly



plotly - модуль для создание интерактивных графиков.

Существуют версии для Python, R, Matlab

Графики представляют собой html фрейм с JavaScript (фреймворк D3.js).

Существуют два режима режима с графиками:

- ▶ оффлайн (график сохраняется как отдельный html файл)
- ▶ графики публикуются на сервере plot.ly

plotly

Для создания оффлайн-графиков нужно использовать отдельный модуль offline пакета plotly.

```
from plotly.offline import download_plotlyjs, \
    init_notebook_mode, plot, iplot
from plotly.graph_objs import Scatter, Figure, Layout
import numpy as np
```

```
x = np.linspace(-10, 10, 100)
y = np.vectorize(lambda x: np.sin(x) * x )(x)
plot([Scatter(x=x, y=y)])
```

Будет создан отдельный html файл, который автоматически откроется в браузере

plotly

Чтобы графики отображались в окне Jupyter следует явно это указать

```
init_notebook_mode(connected=True)
```

и использовать функцию рисовани **iplot** вместо plot.

```
from plotly.offline import download_plotlyjs, \
    init_notebook_mode, plot, iplot
from plotly.graph_objs import Scatter, Figure, Layout
import numpy as np
```

```
init_notebook_mode(connected=True)
```

```
x = np.linspace(-10, 10, 100)
y = np.vectorize(lambda x: np.sin(x) * x)(x)
iplot([Scatter(x=x, y=y)])
```


plotly

Диаграмма рассеивания трёхмерной случайной величины

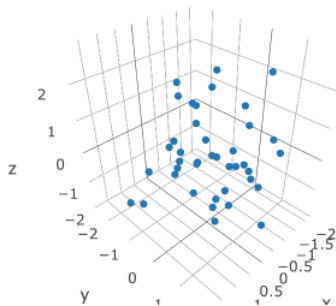
```
from plotly.offline import download_plotlyjs, \
    init_notebook_mode, iplot
from plotly.graph_objs import Scatter3d, Figure
import numpy as np

init_notebook_mode(connected=True)
# создание 3-х массивов заполненных 10 случайными значениями
x,y,z = np.random.uniform( size=(3, 10))

trace1 = Scatter3d(x=x, y=y, z=z, mode='markers', \
    marker=dict(size=2))

data = [trace1]
fig = Figure(data=data)
iplot(fig)
```

Пример



Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

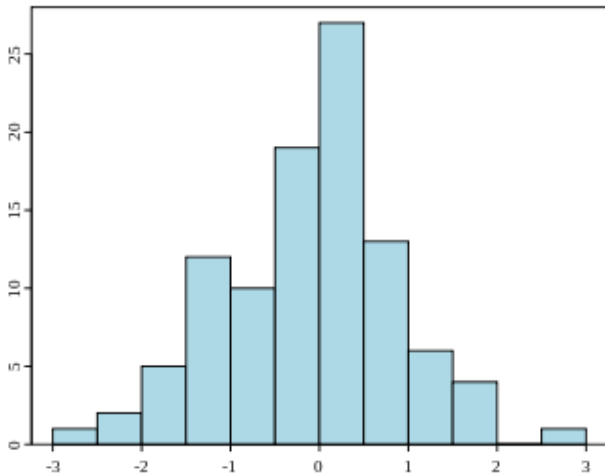
Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Гистограмма

Гистограмма - столбчатая диаграмма, способ графического представления табличных данных



Гистограмма

```
from random import random
import seaborn
from matplotlib.pyplot import show

X = [ sum( [random() for i in range(1000)] )
      for j in range(1000)]

# подготовим гистограмму и кривую распределения
seaborn.distplot(X)

show()
```

Гистограмма

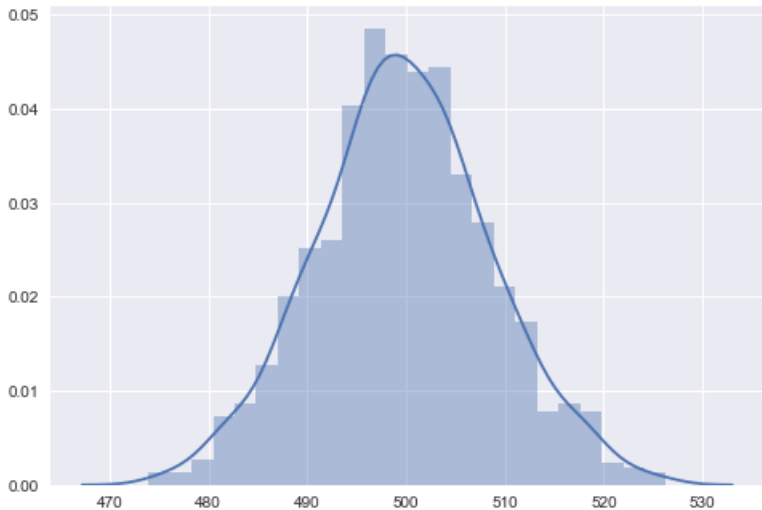


Диаграмма рассеивания и коэффициент корреляции

```
import seaborn  # для визуализации

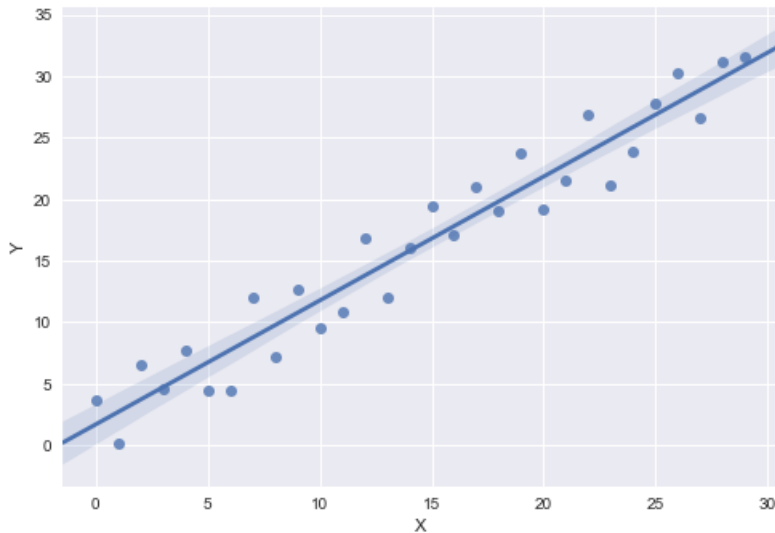
# Таблица для хранения стат.данных
from pandas import DataFrame

# поместим в таблицу как столбцы с заголовками X и Y
D = DataFrame( {'X':X, 'Y':Y} )

# Построим диаграмму рассеивания
seaborn.regplot(x='X', y='Y', data=D);

plt.show()
```

Диаграмма рассеивания



Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

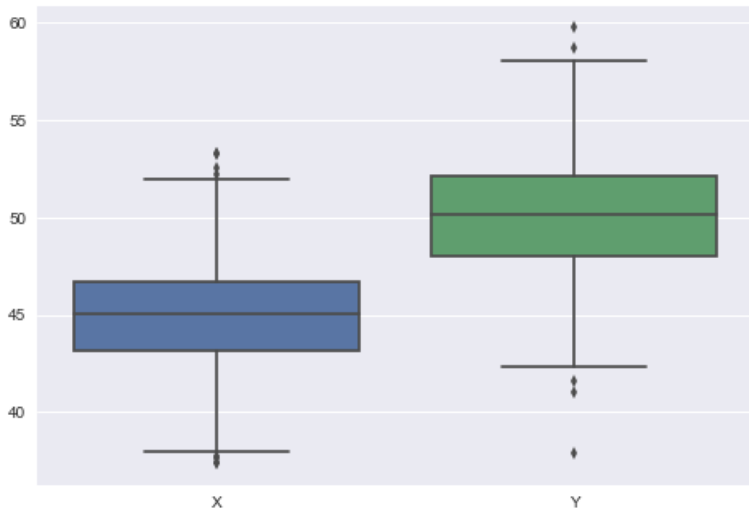
Графы

Ссылки и литература

Диаграмма размаха ("Ящик с усами")

```
X = [ sum([random() for i in range(90)])  
      for j in range(1000) ]  
Y = [ sum([random() for i in range(100)])  
      for j in range(1000) ]  
  
D = DataFrame( {'X' : X, 'Y':Y} )  
seaborn.boxplot(D)  
plt.show()
```

Диаграмма размаха ("Ящик с усами")



О визуализации статистический данных и проверке гипотез с помощью Python:

nahlogin.blogspot.ru/2016/01/pandas.html

Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Представление таблиц DataFrame

Содержимое DataFrame можно конвертировать в HTML таблицу

```
D.to_html()
```

Однако такое преобразование непосредственно не пригодно для отображения в ячейке Jupyter.

Используем пакет IPython чтобы отобразить html:

```
from IPython.display import HTML
```

```
HTML( D.to_html() )
```

Представление таблиц DataFrame

При создании HTML таблицы из DataFrame стоит использовать CSS классы

```
HTML(D.to_html(classes=["table-bordered",  
                        "table-striped", "table-hover"]))
```

Будет создана таблица с не яркой границей, чередующимися светлыми и тёмными строками, выделением строки под курсором

| | x | y1 | y2 |
|---|-----------|----------|----------|
| 0 | -2.000000 | 2.000000 | 2.000000 |
| 1 | -1.995996 | 1.847768 | 1.999842 |
| 2 | -1.991992 | 1.855189 | 1.999367 |
| 3 | -1.987988 | 1.695694 | 1.998576 |
| 4 | -1.983984 | 1.731972 | 1.997469 |
| 5 | -1.979980 | 1.681612 | 1.996046 |

Стили таблиц DataFrame

настройка внешнего вида таблиц DataFrame

<https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/style.html>

Outline

Введение

Диаграммы и графики

- Векторизация функций

- Двумерные графики

- Графики в изометрии

- Интерактивные графики

- Гистограмма

- Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Графы

```
import networkx as nx
```

```
g = nx.Graph()
```

```
g.add_edge('a', 'b', weight=0.1)
```

```
g.add_edge('b', 'c', weight=1.5)
```

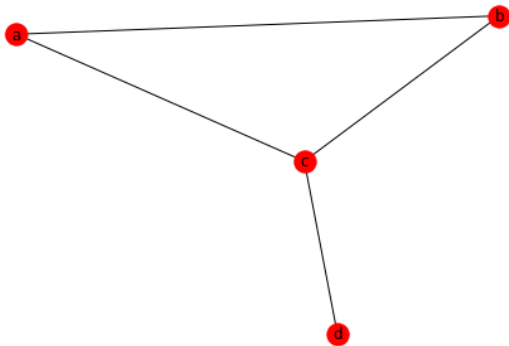
```
g.add_edge('a', 'c', weight=1.0)
```

```
g.add_edge('c', 'd', weight=2.2)
```

```
nx.draw(g)
```

networkx.github.io/documentation/networkx-1.10/reference/drawing.html -
документация

Графы



Графы

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

G=nx.Graph()

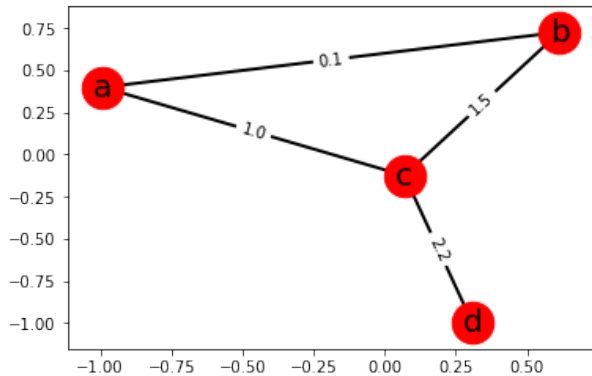
G.add_edge('a','b',weight=0.1)
G.add_edge('b','c',weight=1.5)
G.add_edge('a','c',weight=1.0)
G.add_edge('c','d',weight=2.2)

pos = nx.spring_layout(G)

nx.draw_networkx_nodes(G, pos, node_size=700, with_labels = True)
nx.draw_networkx_labels(G, pos, font_size=20, font_family='sans-serif')
nx.draw_networkx_edges(G, pos, edgelist=G.edges(), width=2)

labels = nx.get_edge_attributes(G, 'weight')
nx.draw_networkx_edge_labels(G,pos,edge_labels=labels)
```

Графы



Графы

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

G=nx.Graph()

G.add_edge('a','b',weight=0.1)
G.add_edge('b','c',weight=1.5)
G.add_edge('a','c',weight=1.0)
G.add_edge('c','d',weight=2.2)

# получить матрицу весов
nx.adjacency_matrix(G).todense()

# граф по матрице инцидентности (матрице весов)
np.array([[0, 0.5, 1],
          [0.5, 0, 0],
          [1, 0, 0]])
G2 = nx.from_numpy_matrix(A)
```

Outline

Введение

Диаграммы и графики

Векторизация функций

Двумерные графики

Графики в изометрии

Интерактивные графики

Гистограмма

Диаграмма размаха

Представление таблиц DataFrame

Графы

Ссылки и литература

Ссылки и литература

- ▶ <https://jupyter.org/try>
- ▶ Numerical methods in engineering with Python 3 / Jaan Kiusalaas.
- ▶ Как использовать Jupyter (ipython-notebook) на 100%

Ссылки и литература

Ссылка на слайды

<https://github.com/ivtipm/computer-simulation>