

Python 科学计算基础

第九章 图示

2025 年 9 月 5 日

目录

基于状态的绘图方式

面向对象的绘图方式

三维数据的图示

颜色映射图和等高线图

表面图、线框图和三维等高线图

二维和三维向量场

实验 9：图示

Matplotlib

Matplotlib(<https://matplotlib.org/stable/index.html>) 是一个 Python 扩展库，它提供了丰富的绘图功能，可绘制多种二维和三维图示，直观地呈现科学计算的输入数据和输出结果。

使用 Matplotlib 库绘图是在图片 (Figure) 对象上进行。每个图片对象包含一个或多个独立的绘图区域 (Axes)。在每个绘图区域里，需要绘制的点用二维或三维坐标表示。

Matplotlib 库的使用方式有两种。一种是面向对象的方式，即创建 Figure 和 Axes 对象，然后调用它们的方法。另一种是基于状态的方式，即调用 `matplotlib.pyplot` 的函数。

基于状态的绘图方式

`matplotlib.pyplot` 模块提供了一些函数，实现了类似 MATLAB 的绘图功能。这些函数作用于当前的绘图区域。每个函数调用完成以后会保存对状态的改变。

`plot` 函数可绘制二维平面上由若干数据点组成的图示，可以仅显示孤立的点，也可以把点连成线。**程序 9.1** 绘制了一些时间复杂度函数随问题规模增长的变化情况。

plot 函数的常用参数

| 参数名称 | 参数定义和示例 |
|------------|--|
| color | 颜色，可以是蓝色 ('b')、绿色 ('g')、红色 ('r')、蓝绿色 ('c')、洋红色 ('m')、黄色 ('y')、黑色 ('k') 和白色 ('w')，或十六进制自定义"#rrggbb" |
| linestyle | 线的风格，可以是实线 ('-')、虚线 ('--')、点划线 ('-.')、点线 (':') 和不连线 ('None') |
| marker | 数据点的标志，可以是 '+'、'_','*','o','v','^','<','>','s','p','x','D','d','1','2','3' 和 '4' 等 |
| markersize | 数据点的标志的尺寸 |
| label | 图例中显示的标签，可以用 $r'\$...\$'$ 的形式写 Latex 公式 |

对数尺度

如果在程序 9.1 中增加绘制比平方函数增长更快的函数，则前四个函数的图像几乎重合，原因是不同函数的函数值的变化范围差别太大。

为了清晰显示时间复杂度函数的差别，程序 9.2 中的第 7 行将 y 轴设为对数尺度，

子图和文字注解

程序 9.3 绘制了函数 $f(x) = \frac{x^4}{4} - \frac{26x^3}{3} + \frac{91x^2}{2} + 294x$ 在两个不同区间 $[-5, 24]$ 和 $[-40, 59]$ 上的图像。

`subplot` 函数可以在一个图片中绘制一个子图。通常情况下，属于同一个图片的所有子图的尺寸相同，并且按行和列均匀排布。`subplot` 函数的前两个参数定义了子图的行数和列数，第三个参数指定当前子图的位置编号。

第 15 行使用 `text` 函数在第一个子图中的指定位置标示了 $x = 2$ 时的局部极小值。第 16 行至第 18 行调用 `annotate` 函数在第一个子图中的指定位置标示了 $x = 21$ 时的全局极小值。

在子图中使用多种风格绘图

程序 9.4 使用多种风格绘制了 6 个子图，按照从上到下、从左到右的次序排列。

1. 条状图显示了 2022 年 GDP 排名前五的国家的 GDP。
2. 堆叠面积图显示了从 2018 年至 2022 年我国发电装机总容量及构成情况的演变。
3. 误差条图模拟测量值的波动范围。
4. 以时间为横坐标的连线图模拟随机游走。
5. x 轴和 y 轴均为对数尺度的连线图绘制了函数 $y = 1.2^x$ 。
6. 仅 x 轴为对数尺度的连线图绘制了函数 $y = \log(\log(x))$ 。

面向对象的绘图方式

程序 9.5 采用面向对象的方式绘制了程序??中的几个函数。

程序 9.6 采用面向对象的方式绘制了多项式函数的局部和全局极小值。程序根据主刻度和次刻度绘制了网格线，并保存图像为指定的路径和名称的 PNG 格式文件。如果将文件的后缀改为 “pdf”，则可保存为 PDF 格式文件。

程序 9.7 演示了如何绘制多个共享 x 轴的函数的图像。

三维数据的图示

有两个自变量和一个因变量的函数的数据点分布在三维空间，可以通过二维平面上的颜色映射图或等高线图显示，也可以通过表面图、线框图和三维等高线图显示。

默认情况下，在 spyder 中运行程序生成的图片显示在右上角窗口。如果需要在一个独立窗口中显示图片以便调整参数，需要按照以下步骤操作。

1. 点击 spyder 的 Tools 菜单，选择 Preference 菜单项。
2. 在弹出的对话框左边的列表中选中 "IPython console"。
3. 点击右边窗口的 "Graphics" 标签。
4. 中间的 "Graphics backend" 部分有一个下拉列表，选中其中的 "IPython console" 选项。

网格

给定一个 x 坐标值的集合 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 和一个 y 坐标值的集合 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ，网格定义为 $\{(x_i, y_j)\}$ ， $1 \leq i \leq m$ ， $1 \leq j \leq n$ 。

`np.meshgrid` 函数从 x 坐标值和 y 坐标值的数组生成一个网格，其返回值是两个二维数组，分别存储了网格上所有点的 x 坐标值和 y 坐标值。

程序 9.8 演示了 `np.meshgrid` 函数生成的网格。

颜色映射图和等高线图

对于函数 $z = f(x, y)$ ，颜色映射图将对应于二维平面上的每个坐标 (x, y) 的 z 值映射到一种颜色显示在这一位置，等高线图将 z 值相同的 (x, y) 坐标连成线。

程序 9.9 绘制了颜色映射图和等高线图。

- ▶ 第 9 行至第 10 行绘制了函数 $z = \sin(x + 2y)\cos(2x - y)$ 的颜色映射图，其中参数 `vmin` 和 `vmax` 指定了映射到颜色的 z 值范围。
- ▶ 第 16 行至第 17 行绘制了函数 $z = (x^2 + y^2 - 1)^3 - x^2y^3$ 的等高线图，其中参数 `levels` 指定了所绘制的各等高线的 z 值，参数 `cmap` 指定了填充相邻等高线之间的区域的颜色映射。
- ▶ 第 21 行用红色填充 $z = -1$ 和 $z = 0$ 这两条等高线之间的区域。
- ▶ 第 31 行绘制了函数 $z = (x^7 - y^6 + x^5 - y^4 + x^3 - y^2 + x - 1)e^{-x^2 - y^2}$ 的 16 条等高线，并在第 32 行标注了每条线的 z 值。

表面图、线框图和三维等高线图

程序 9.10 绘制了函数

$z = (x^7 - y^6 + x^5 - y^4 + x^3 - y^2 + x - 1)e^{-x^2 - y^2}$ 的三维图示。

- ▶ 第 8 行至第 9 行创建了 Figure 和 Axes 对象，并通过 subplot_kw 参数指定绘制三维图示。
- ▶ 第 16 行至第 21 行绘制了根据 z 值染色的表面图，在 x 轴方向和 y 轴方向上的采样次数都是 20。
- ▶ 第 23 行至第 25 行绘制了线框图。
- ▶ 第 27 行至第 29 行绘制了曲面上 x 坐标值相同的点连线得到的三维等高线图。
- ▶ 第 31 行至第 33 行绘制了曲面上 y 坐标值相同的点连线得到的三维等高线图。

二维和三维向量场

程序 9.11 使用 quiver 函数绘制了二维和三维向量场。

- ▶ 第 7 行至第 12 行绘制了 Holling-Tanner 模型

$$\dot{x} = x(1 - \frac{x}{7}) - \frac{6xy}{7 + 7x}, \quad \dot{y} = 0.2y(1 - \frac{0.5y}{x})$$

在一个二维网格上的每个点 (x, y) 处的向量 (\dot{x}, \dot{y}) 。

- ▶ 第 22 行调用 quiver 函数绘制了三维 Lotka-Volterra 模型

$$\dot{x} = x(1 - 2x + y - 5z), \quad \dot{y} = y(1 - 5x - 2y - z), \quad \dot{z} = z(1 + x - 3y - 2z)$$

在一个三维网格上的每个点 (x, y, z) 处的向量 $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ 。

实验 9：图示

本实验的目的是掌握使用 Matplotlib 库绘制图示的方法。

在 Blackboard 系统提交一个文本文件 (txt 后缀)，文件中记录每道题的源程序和运行结果。

1. 绘制相对误差的图示

1. 编写程序从一个等比数列中依次选取 n ，绘制实验 5 习题 2 的三个计算数值定积分公式的计算结果和精确结果之间的相对误差随 n 变化的情况。绘图时两个坐标轴都使用对数尺度，并标注图例。

2. 绘制运行时间的图示

绘制实验 8 习题 2 的三种排序算法的运行时间随列表长度变化的情况并标注图例。

3. 绘制三维图示

在两行两列的四个子图中依次绘制函数
 $z = (3x^3 - 2x + 4x^2y + 2y^2)e^{-x^2-y^2} (-2 \leq x \leq 2, -2 \leq y \leq 2)$
的四个图示：根据 z 值染色的三维表面图、 x 坐标值相同的点
连线得到的三维等高线图、 y 坐标值相同的点连线得到的三
维等高线图和 z 坐标值相同的点连线得到的三维等高线图。