

# 24

## Density-Based Clustering

# 密度聚类

利用数据分布紧密程度聚类



实验是科学向自然提出的问题，测量是对自然回答的记录。

***An experiment is a question which science poses to Nature, and a measurement is the recording of Nature's answer.***

—— 马克斯·普朗克 (Max Planck) | 德国物理学家，量子力学的创始人 | 1858 ~ 1947



- ◀ `itertools.cycle()` 把一组数据循环取出
- ◀ `itertools.islice()` 返回一个迭代器
- ◀ `numpy.random.seed()` 设置随机数种子可以使每一次生成随机数据的时候结果相同
- ◀ `sklearn.cluster.DBSCAN()` DBSCAN 聚类函数
- ◀ `sklearn.cluster.OPTICS()` OPTICS 聚类函数
- ◀ `sklearn.datasets.make_circles()` 创建环形样本数据
- ◀ `sklearn.preprocessing.StandardScaler().fit_transform()` 标准化数据；通过减去均值然后除以标准差，处理后数据符合标准正态分布

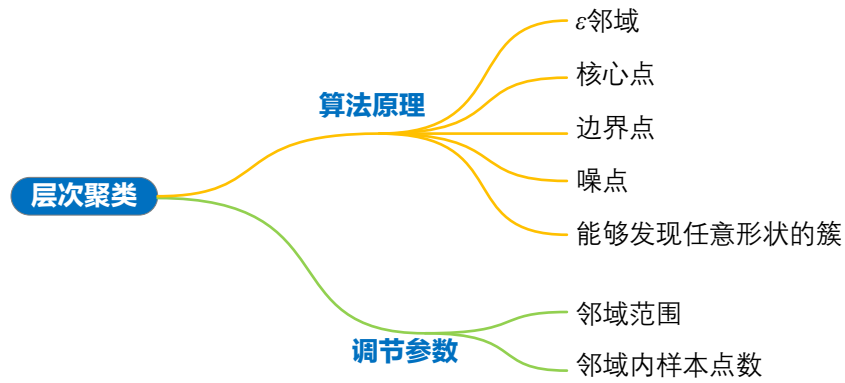
本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)



## 24.1 DBSCAN 聚类

密度聚类是一种基于数据点密度的聚类方法，其核心思想是将高密度区域作为聚类中心，并将低密度区域作为聚类边界。常用的密度聚类算法有 DBSCAN、OPTICS、DENCLUE 等。

DBSCAN 通过设定邻域半径和最小密度等参数，将具有足够密度的数据点聚成一个簇；OPTICS 在 DBSCAN 的基础上，通过建立可达距离图来优化聚类结果；DENCLUE 则采用高斯核函数来建模数据点的密度，通过求解梯度的方式来寻找密度峰值，进而进行聚类。密度聚类方法对于数据分布的形态没有特殊要求，对于噪声和离群点的鲁棒性较强，具有广泛的应用价值。

DBSCAN 聚类算法全称为 Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise，它是一种基于密度的聚类方法，是本章要重点介绍的算法。为了方便大家理解 DBSCAN 聚类算法，下面打个比方。

### 原理

如图 1 所示，限定距离范围内 (即圆圈圈定领域)，粉丝超过一定数量的点就是 UP 主 (头顶皇冠者)；DBSCAN 聚类算法和核心是，如果任意两个 UP 主互粉 (在对方的圆圈范围之内)，则两个 UP 主及各自粉丝可以被划分为一簇。

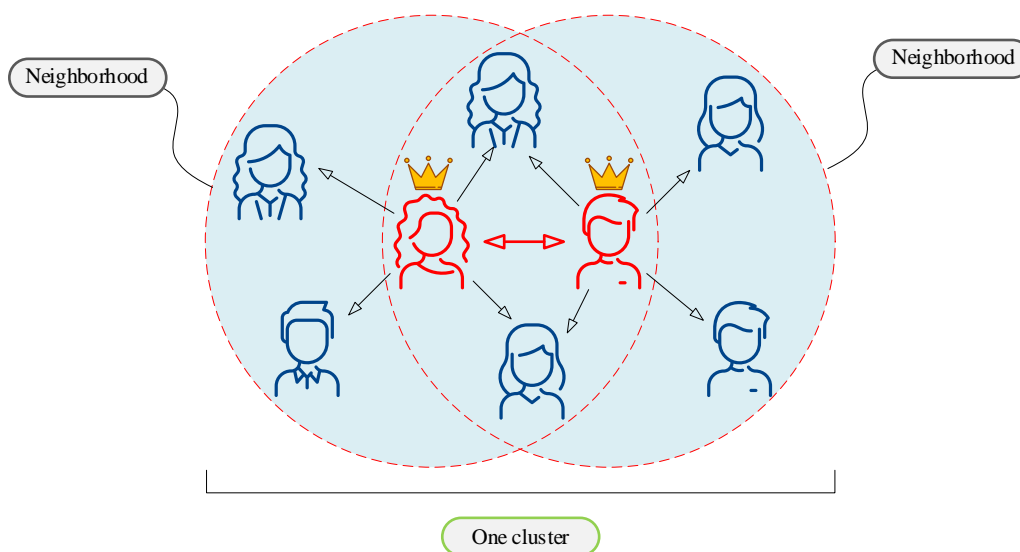


图 1. DBSCAN 算法原理

### 几个概念

下面介绍 DBSCAN 算法涉及到的几个概念。

**$\epsilon$  邻域** ( $\epsilon$  neighborhood, epsilon neighborhood)  $\epsilon_{sp}$  限定领域范围， $\epsilon_{sp}$  对应图 1 中的圆圈半径。准确地说， $\epsilon$  邻域指的是以某样本数据点为中心、 $\epsilon_{sp}$  为半径的区域。

以空间某点为中心， $\epsilon_{sp}$  为半径邻域内包含至少 `min_samples` 数量的数据点，则称该点为**核心点** (core point)，即前文所说的 UP 主。

核心点  $\varepsilon$  邻域内的点，被称之为**边界点** (border point)。核心点相当于图 1 中 UP 主；边界点，相当于粉丝。特别需要读者注意的是， $\text{min\_samples}$  为核心点和边界点数量之和。

样本数据点可以是核心点，也可以是边界点，甚至身兼两者角色；如果数据点既不是核心点，也不是边界点，该数据点被称作**噪点** (noise point)，即**离群数据** (outlier)。

## 聚类

图 2 给出平面内 8 个样本数据点；以每个数据点为中心， $\varepsilon$  为半径扫描整个平面，且定义  $\text{min\_samples} = 4$ 。

发现只有样本点  $x^{(5)}$  的  $\varepsilon$  邻域内有 4 个样本点 (包括自  $x^{(5)}$  身)；因此， $x_5$  为核心点， $x^{(2)}$ 、 $x^{(4)}$  和  $x^{(7)}$  为边界点，剩余其他数据点为噪点。

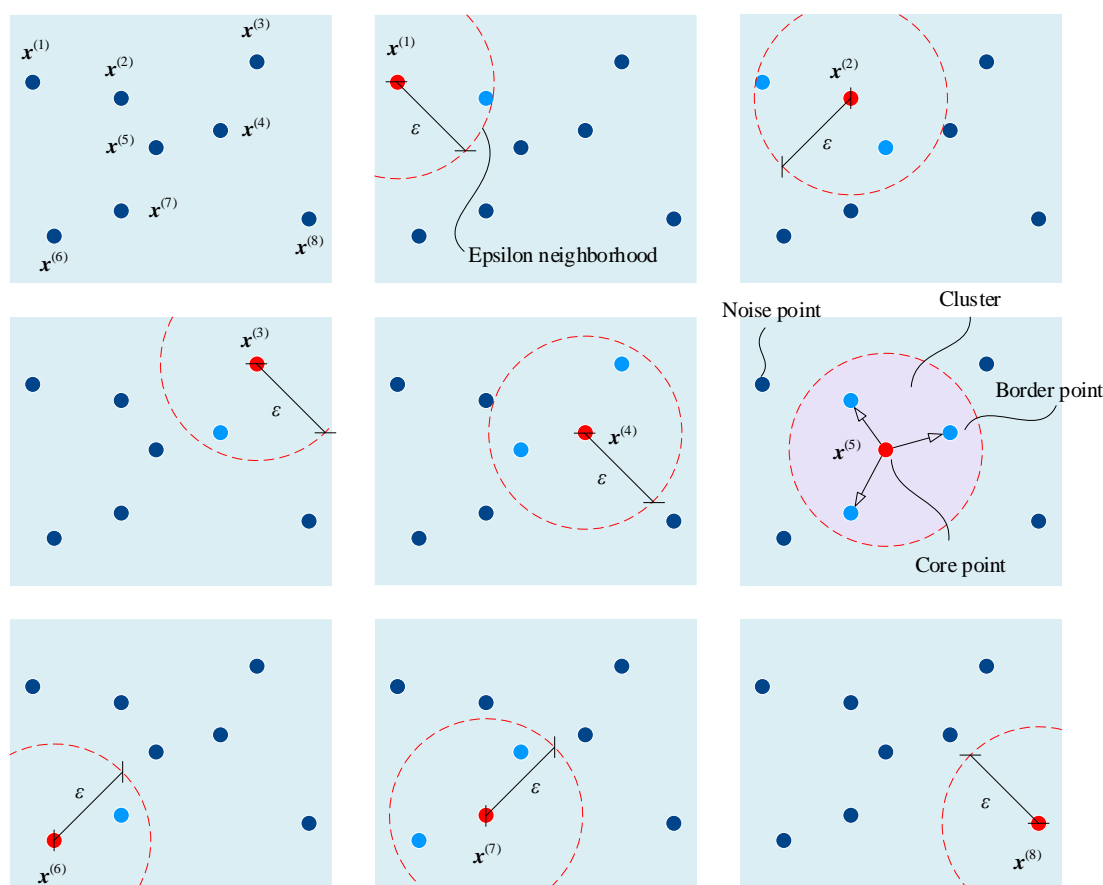


图 2. DBSCAN 算法扫描 8 个样本数据点

如图 3 所示，通过 DBSCAN 算法，空间数据被分为 3 簇。图 3 中，红色数据点为核心点 (即 UP 主)。UP 主的最低要求是在以自己为中心的  $\varepsilon$  邻域内包括含自己在内有 4 名成员；浅蓝色数据点为边界点，深蓝色为噪点。 $C_1$  自成一簇；三个 UP 主互粉，三个  $\varepsilon$  邻域相互连接，构成  $C_2$ ；两个 UP 主互粉，两个  $\varepsilon$  邻域相互连接，构造图 3 中所示  $C_3$ 。

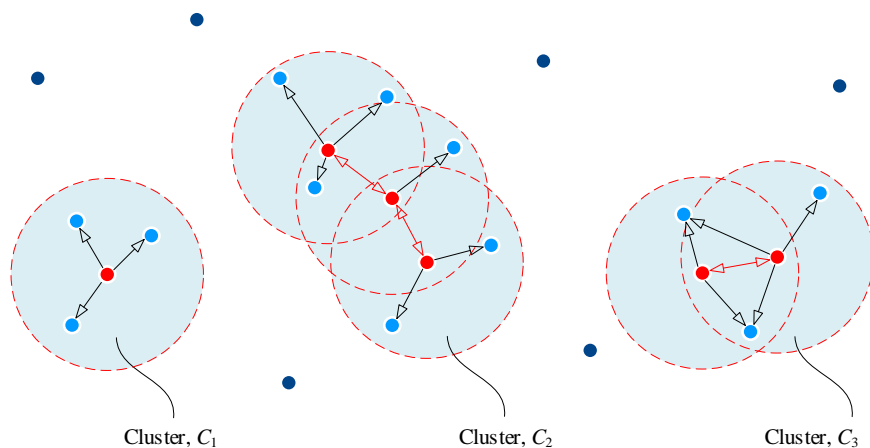


图 3. 通过 DBSCAN 算法，数据被分为 3 簇

## 24.2 调节参数

### 邻域范围

$\epsilon$  控制邻域范围大小。 $\epsilon$  值选取过大，会导致整个数据集被分为一簇；但是  $\epsilon$  取值过小，会导致簇过多且分散，并且标记过多噪音点。

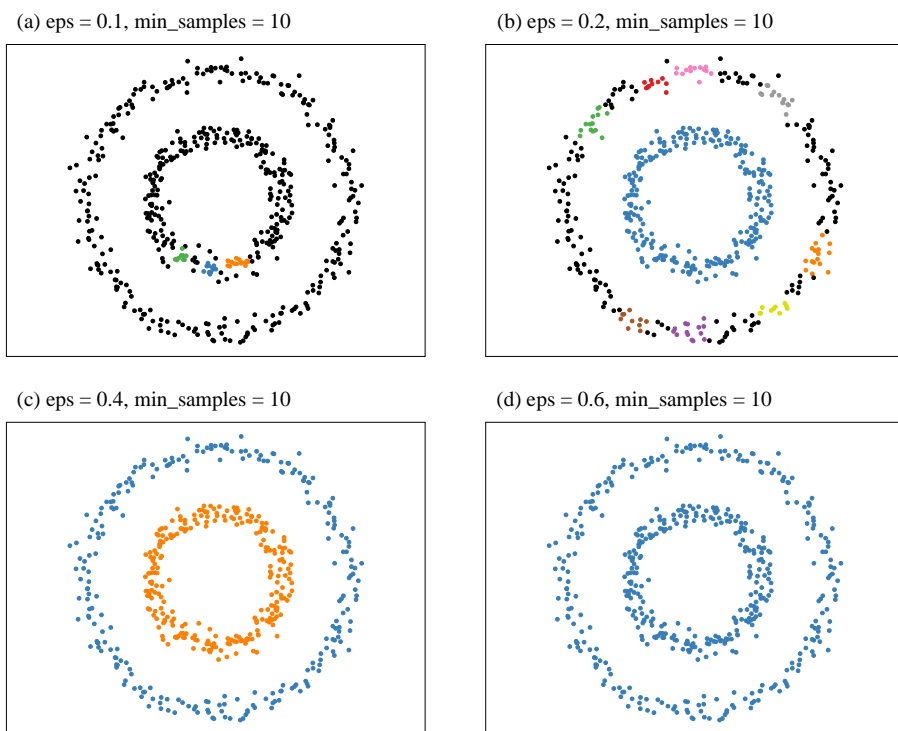
图 4.  $\epsilon$  对聚类结果影响

图 4 (a) 所示，当  $\epsilon = 0.1$  时，环形样本数据多数被标记为噪音（黑色点）。当  $\epsilon$  增大到 0.2 时，被标记为噪音点减少，且小环被划分为一簇（蓝色点），如图 4 (b) 所示。当  $\epsilon = 0.4$  时，环形样本数据被正确地分类为两簇，如图 4 (c) 所示。当  $\epsilon$  增大到 0.6 时，所有样本数据被划分为一簇。请读者注意， $\epsilon$  邻域半径  $\epsilon$  这个距离，未必是欧氏距离。

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

## 邻域内样本点数

`min_samples` 调节 DBSCAN 算法对噪声的容忍度；当数据噪音过大时，应该适当提高 `min_samples`。

$k$  均值和 GMM 聚类算法需要预先声明聚类数量；但是，DBSCAN 则不需要。DBSCAN 聚类不需要预设分布类型，不受数据分布影响，且可以分离离群数据。但是，DBSCAN 算法对 `eps` 和 `min_samples` 这两个初始参数都很敏感；协同调节 `eps` 和 `min_samples` 两个参数显得非常重要。

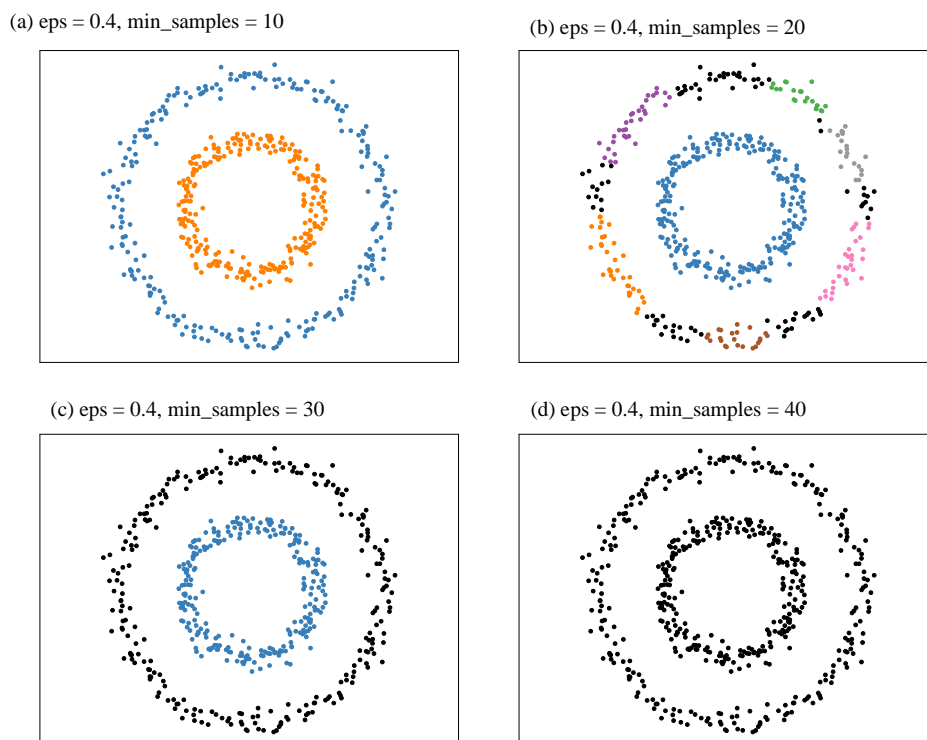


图 5. `min_samples` 对聚类结果影响

代码 Bk7\_Ch24\_01.ipynb 绘制图 4、图 5。下面聊聊其中核心语句。

**a** 这一行代码调用 `sklearn.cluster.DBSCAN()` 创建了一个 DBSCAN 对象。

`eps` 表示两个样本被视为邻居的最大距离。在 DBSCAN 中，这个距离阈值用于确定样本点的密度可达性。

`min_samples` 指定一个样本点周围邻域内最小样本数，用于确定核心点。一个核心点是一个样本点，如果其周围至少有 `min_samples` 个样本点在距离为 `eps` 的邻域内，那么该点被认为是核心点。这个参数影响着对噪声点的容忍度和簇的最小样本数。

请大家试着调节 `eps` 和 `min_samples` 参数，我们可以调整算法的敏感性，以便更好地适应不同密度和形状的数据集。

**b** 使用之前创建的 DBSCAN 对象 (`dbscan`) 对数据集 `X` 进行拟合和聚类预测，然后将得到的聚类标签赋值给变量 `y_pred`。

**c** 首先使用 `itertools.cycle()` 函数创建了一个无限循环的迭代器，该迭代器包含一系列预定义的颜色值。然后，再使用 `itertools.islice()` 函数从无限循环的颜色迭代器中截取了一个固定

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

长度的片段，该长度等于聚类簇的数量（即  $\max(y\_pred) + 1$ ）。这确保了每个聚类簇都有一个独特的颜色。

**d** 用 `matplotlib.pyplot.scatter()` 可视化聚类结果。

```

for eps in np.array([0.1, 0.2, 0.4, 0.6]):
    a dbscan = cluster.DBSCAN(eps=eps, min_samples=10)
    b y_pred = dbscan.fit_predict(X)
    fig, ax = plt.subplots()
    c colors = np.array(list(islice(cycle(['#377eb8', '#ff7f00', '#4daf4a',
                                           '#f781bf', '#a65628', '#984ea3',
                                           '#999999', '#e41a1c', '#dede00']),
                                  int(max(y_pred) + 1))))
    # 增加黑色
    colors = np.append(colors, ["#000000"])
    # 绘制散点图
    d plt.scatter(X[:, 0], X[:, 1], s=10, color=colors[y_pred])

    plt.title('eps = %0.2f' % eps)
    plt.xlim(-2.5, 2.5)
    plt.ylim(-2.5, 2.5)
    plt.xticks(())
    plt.yticks(())
    plt.axis('equal')

```


代码 1. 用 `sklearn.cluster.DBSCAN()` 完成密度聚类 |  Bk7\_Ch24\_01.ipynb



图 6 所示为用 Streamlit 搭建的展示模型参数 `eps` 和 `min_samples` 对 DBSCAN 聚类结果影响的 App。Streamlit\_Bk7\_Ch24\_02.py 搭建此 App，请大家自行学习。

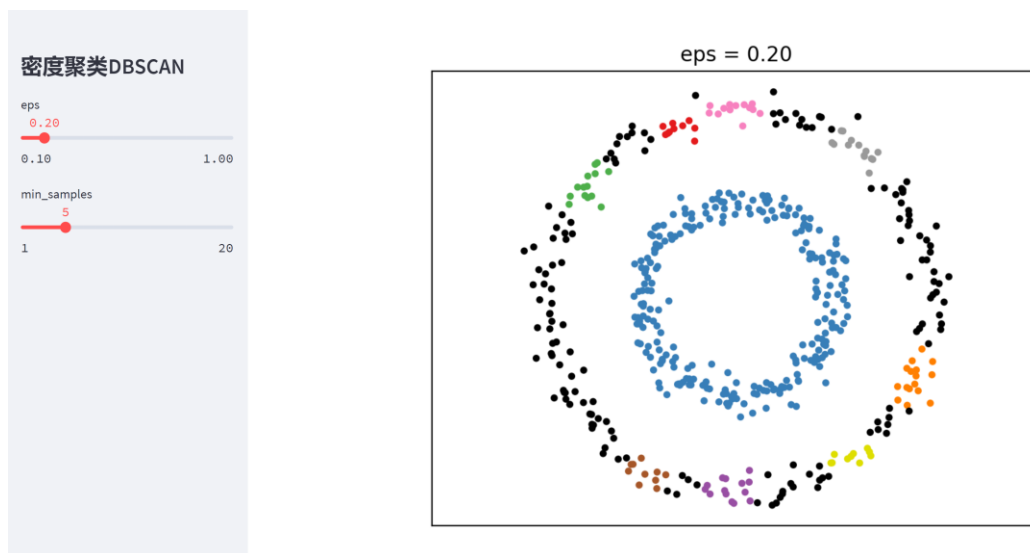



图 6. 展示模型参数 `eps` 和 `min_samples` 对 DBSCAN 聚类结果影响的 App, Streamlit 搭建 |

 `Streamlit_Bk7_Ch24_02.py`

DBSCAN 是一种基于密度的聚类算法，其特点是可以自动识别出任意形状的簇，并将离群点视为噪声数据。DBSCAN 将密度定义为在给定半径内的数据点数量，利用这一度量将数据点分为核心点、边界点和噪声点三类。

在聚类过程中，DBSCAN 通过不断扩展核心点的密度直到达到最大密度，将核心点和边界点划分到同一簇中。优点是不需要事先设定聚类数量，鲁棒性强，可以处理不同形状、大小和密度的簇。缺点是对于密度分布较为均匀的数据集，可能出现聚类失效的情况。

OPTICS (Ordering Points To Identify the Clustering Structure) 聚类算法和 DBSCAN 非常相似。不同的是，需要用户输入 `eps` 和 `min_samples` 两个参数；而 OPTICS 虽然也需要输入这两个参数，但是对 `eps` 不敏感。请读者自行学习下例。

[https://scikit-learn.org/stable/auto\\_examples/cluster/plot\\_optics.html](https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/cluster/plot_optics.html)