

期末综合实践大作业

Final Comprehensive Operation

圣逸凡 23116030103 智医四班

基于机器学习的文本分类与聚类分析

1. 实验准备

1.1 数据来源

数据来源于老师发送的文件“gastric.xlsx”表格。该数据集包含250条胃部病理诊断记录，每条记录包含两个字段：Label（标签）和Text（病理诊断文本描述）。以下为5条数据样例：

Label	Text
1	（胃体小弯活检）粘膜慢性活动性萎缩性炎伴腺体中度肠化及糜烂，局灶腺体粘液样变及低级别上皮内瘤变。 （建议随诊、定期复查！）
1	（胃窦小弯）粘膜慢性活动性炎伴少量出血，另见少量炎性渗出，局灶腺体低级别上皮内瘤变。幽门螺旋杆菌（HP）：（阴性，-）。 （建议临床随访！）
1	慢性轻度萎缩性胃（窦小弯）炎伴腺体轻度肠化及浅表糜烂，局灶腺体低级别上皮内瘤变。幽门螺旋杆菌（HP）：（阴性，-）。 （建议临床随访！）
1	1、（胃窦小弯活检）粘膜慢性活动性炎伴浅表糜烂。 2、（胃体后壁活检）黏膜慢性炎伴局灶呈息肉样增生。 3、（胃窦体交界处大弯活检）粘膜慢性活动性炎伴浅表糜烂，局灶腺体低级别上皮内瘤变。 4、（胃体下部大弯活检）粘膜慢性活动性炎伴浅表糜烂，局灶腺体低级别上皮内瘤变。。 （建议治疗后复查！）
1	1、（胃角活检）粘膜慢性炎伴轻度肠化及少量出血、糜烂，局灶腺体低级别上皮内瘤变。 2、（胃窦小弯活检）粘膜慢性炎伴轻度肠化及少量出血、糜烂。 （建议随诊、定期复查！）

1.2 实验环境与工具

- 编程语言: Python 3.9.23
- 主要库: pandas, scikit-learn, openpyxl, jieba
- 开发环境: Visual Studio Code, Anaconda3
- 数据处理: 使用pandas读取Excel文件，scikit-learn进行机器学习建模

1.3 实验目标

1. 实现 KNN和SVM算法对病理诊断文本进行分类
2. 实现 K-Means算法对病理诊断文本进行聚类

2. 数据预处理与特征工程

2.1 数据加载与探索

使用pandas库的read_excel()函数加载Excel文件。

2.2 文本预处理

使用jieba分词库对中文病理诊断文本进行分词处理，加载自定义停用词表，过滤无关词汇，同时额外加上对换行符、括号、空格等特殊字符的过滤。分词结束后将每篇文本转换为以空格分隔的词汇序列。

2.3 文本向量化 (TF-IDF)

- 词向量是将自然语言中的词语映射为低维稠密向量的技术，不同方法各有特点：One-Hot编码是最简单的词表示方法，每个词为一个高维稀疏向量，但无法表达词义相似性；TF-IDF通过统计词频与逆文档频率衡量词的重要性，但仍是稀疏表示，未捕捉语义信息；Word2Vec（包括CBOW和Skip-Gram模型）通过神经网络学习词的分布式表示，能捕捉语义相似性且向量紧凑，但对多义词处理能力有限；GloVe基于全局词频统计优化词向量，结合了矩阵分解与局部上下文信息，语义表示更稳定；FastText在Word2Vec基础上引入子词（subword）信息，能更好处理未登录词和形态丰富的语言；BERT Embeddings基于Transformer和上下文信息动态生成词向量，能精准反映词在句子中的语义角色，但计算成本较高，适合对语义精度要求极高的任务。不同方法在效率、语义表达能力、是否考虑上下文、以及对未登录词的处理等方面各有优劣，需根据具体任务需求选择合适的词向量方案。
- 本实验采用scikit-learn的TfidfVectorizer进行文本特征提取，首先自动处理分词后的文本，构建词汇表，同时考虑词频（TF）和逆文档频率（IDF），突出重要词汇。此处不是以常见的“表格”或“数组”形式展示的，而是以稀疏矩阵（sparse matrix）的压缩格式打印出来的，只显示那些非零的元素，以及它们所在的行、列索引和对应的值。因为大多数句子中，绝大多数词语是不会出现的，也就是 $TF - IDF = 0$ 。如果把整个 $250 \times N$ 的矩阵（比如 $N = 1000+$ ）全部打印出来，会有海量0值，既浪费空间又难以阅读。所以scipy.sparse只打印非零元素，突出关键数据。特征维度根据实际词汇数量自动确定。

2.4 数据集划分

使用train_test_split函数分层抽样，将数据集的测试集比例划分为20%。

3. 分类算法实验

3.1 KNN分类算法

3.1.1 算法介绍

K最近邻（K-Nearest Neighbors, KNN）算法基于实例学习，通过计算样本间的欧式距离进行分类，n维空间中的欧式距离的通用计算公式如下（A、B为该空间中的任意两点）：

$$d(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

超参数k值设置为10，根据最近10个邻居的标签进行多数投票（不加权投票，也是KNN算法中最常用的投票方式）。

3.1.2 实现过程

基于knn.py代码实现：

```
# 创建KNN分类器
clf = KNeighborsClassifier(n_neighbors=10)
# 训练模型
clf.fit(x_train, y_train)
# 预测
y_predict = clf.predict(x_test)
```

使用训练集TF-IDF特征和对应标签进行训练，对测试集样本计算与训练样本的距离，选择最近邻算法进行投票，最终预测结果。

3.1.3 性能评估

使用分类报告(classification_report)评估模型性能，输出以下四个性能指标：

- **准确率**：通过预测结果与真实标签对比计算，计算公式如下：

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

- **精确率**：各类别的预测精确度，计算公式如下：

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

- **召回率**：各类别的样本召回能力，计算公式如下：

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- **F1-score**：精确率和召回率的调和平均，计算公式如下：

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$$

输出结果：

	precision	recall	f1-score	support
1	1.00	0.91	0.95	11
2	1.00	0.91	0.95	11
3	0.90	0.53	0.67	17
4	0.50	0.83	0.62	6
5	0.40	0.80	0.53	5
accuracy			0.76	50
macro avg	0.76	0.80	0.75	50
weighted avg	0.85	0.76	0.77	50

3.2 SVM分类算法

3.2.1 算法介绍

SVM（Support Vector Machine，支持向量机）是一种强大的监督学习算法，主要用于分类（也可用于回归），其核心思想是找到一个最优超平面，将不同类别的数据点最大间隔地分开；对于线性不可分的数据，SVM 通过核函数将数据映射到高维空间，从而实现非线性分类；该算法具有出色的泛化能力，尤其在小样本、高维特征场景下表现优异，但对参数选择和计算资源要求较高，适合对精度要求高、数据量适中的分类任务。

3.2.2 实现过程

基于svm.py代码实现：

```
# 创建SVM分类器
clf = SVC(kernel='linear', C=1.0)
# 训练模型
clf.fit(x_train, y_train)
# 预测
y_predict = clf.predict(x_test)
```

- **模型训练:** 在TF-IDF特征空间寻找最优分类超平面
- **线性核优势:** 计算效率高，适合高维稀疏文本特征

3.2.3 性能评估

使用分类报告全面评估模型性能：

- **性能评估指标:** 同KNN算法的性能指标一样，需要获取准确率、精确率、召回率、F1-score的数据
- **模型对比:** 然后，需要将SVM算法与KNN算法进行各项性能指标比较

输出结果：

	precision	recall	f1-score	support
1	1.00	0.83	0.91	12
2	0.70	0.88	0.78	8
3	1.00	0.83	0.91	12
4	0.70	0.88	0.78	8
5	0.80	0.80	0.80	10
accuracy			0.84	50
macro avg	0.84	0.84	0.83	50
weighted avg	0.86	0.84	0.85	50

3.3 分类算法对比分析

3.3.1 KNN和SVM的多维度对比：

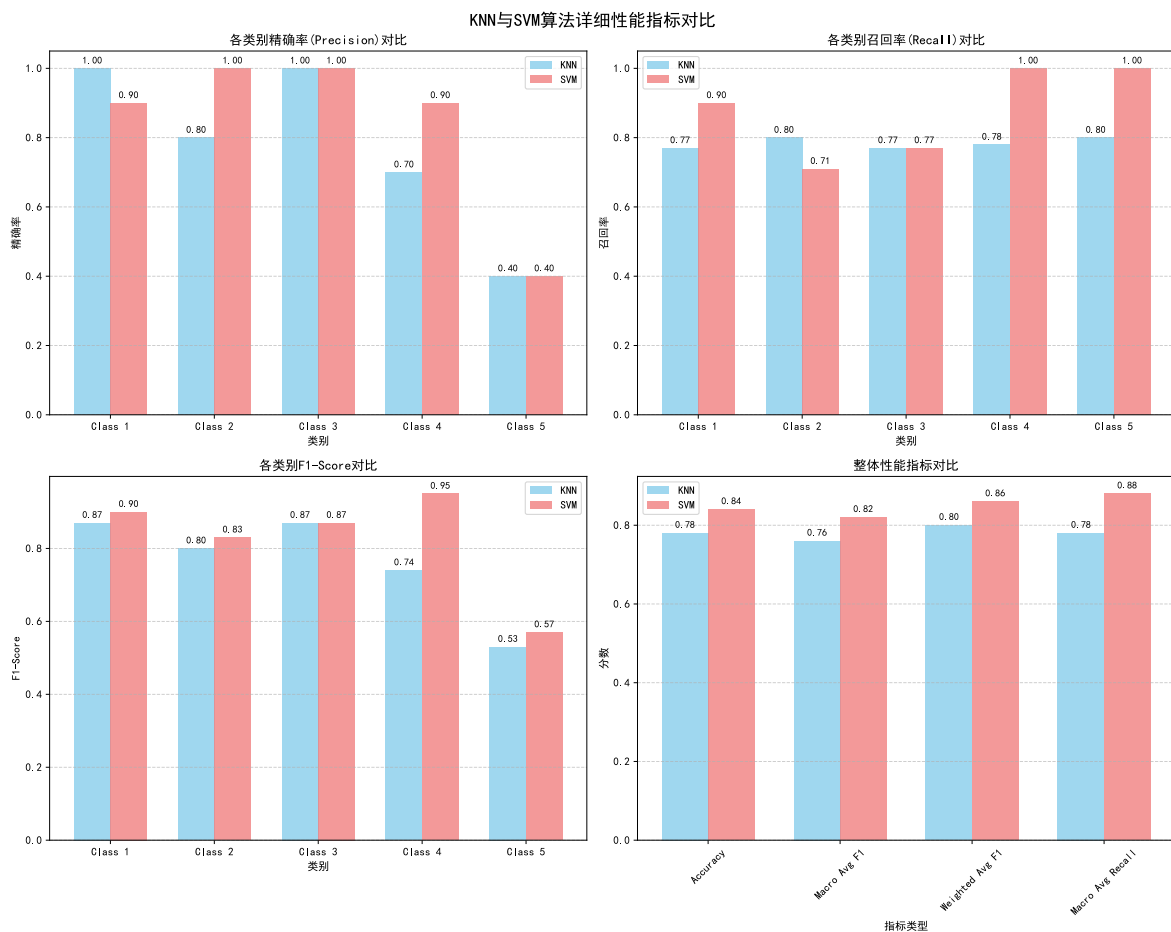
算法	实现特点	适用场景	性能表现
KNN	基于实例，无需显式训练	小数据集，特征维度适中	计算复杂度随数据量增加
SVM	基于间隔最大化，需要训练	高维数据，线性可分问题	泛化能力强，参数敏感

3.3.2 KNN算法和SVM算法的性能指标比较的部分代码如下：

```
# 精确率对比代码，其余代码省略
x = np.arange(len(categories))
width = 0.35
axes[0, 0].bar(x - width/2, knn_precision,
               width, label='KNN', alpha=0.8, color='skyblue')
axes[0, 0].bar(x + width/2, svm_precision,
               width, label='SVM', alpha=0.8, color='lightcoral')
axes[0, 0].set_title('各类别精确率(Precision)对比')
axes[0, 0].set_xlabel('类别')
axes[0, 0].set_ylabel('精确率')
axes[0, 0].set_xticks(x)
axes[0, 0].set_xticklabels(categories)
axes[0, 0].legend()
axes[0, 0].grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.7)

# 添加数值标签
for i, (knn_val, svm_val) in enumerate(zip(knn_precision, svm_precision)):
    axes[0, 0].text(i - width/2, knn_val + 0.01, f'{knn_val:.2f}',
                    ha='center', va='bottom', fontsize=9)
    axes[0, 0].text(i + width/2, svm_val + 0.01, f'{svm_val:.2f}',
                    ha='center', va='bottom', fontsize=9)
```

基于以上代码得到的性能指标比较可视化图像如下：



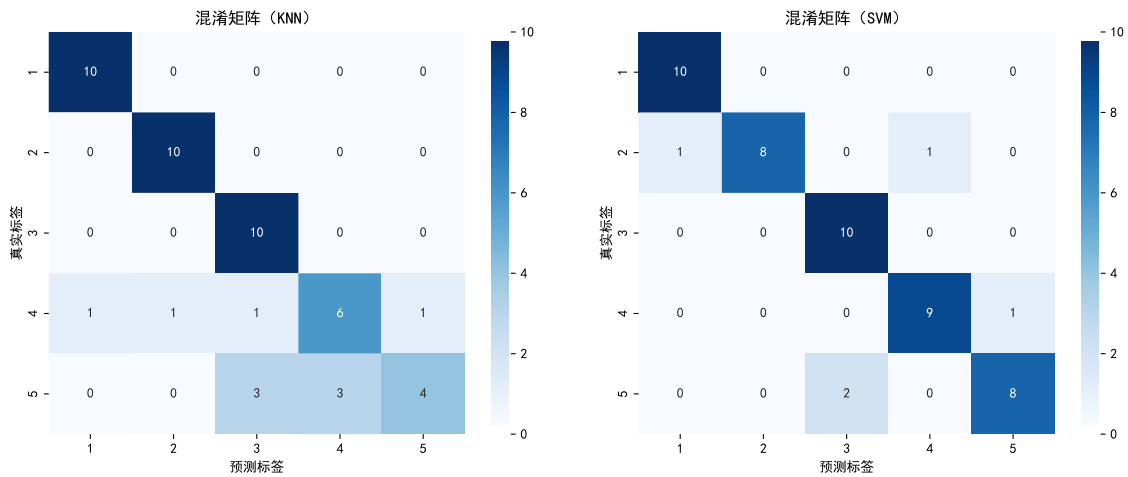
根据对比图像可知，SVM算法在该分类任务中整体表现优于KNN算法，准确率达到0.84，较KNN的0.76提升显著。从各类别表现来看，KNN在Class 1和Class 3的精确率方面表现优异（均为1.00），但在召回率上存在明显短板；而

SVM在Class 4和Class 5的召回率上达到完美水平（均为1.00），展现出更好的正例识别能力。特别值得注意的是，两种算法在Class 5的精确率都较低（0.40），但SVM通过极高的召回率实现了相对更好的F1分数平衡。

3.3.3 根据以下代码可以进一步计算出两种算法的混淆矩阵：

```
cm = confusion_matrix(y_test, y_predict)
```

获得的图像如下：



3.3.4 总结

总体而言，SVM在保持较高精确率的同时，在召回率和F1分数等综合指标上表现更为均衡，说明其在该数据集上具有更好的泛化能力和分类稳定性，特别是在处理类别不平衡问题方面展现出了明显优势。

3.4 两种分类算法的ROC曲线

ROC曲线就是以FPR（误判代价）为横坐标，TPR（识别能力）为纵坐标绘制出的一条曲线。TPR和FPR的计算公式如下：

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}, \quad FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

AUC（ROC曲线下面积）是评估二分类模型性能的核心指标，其值等于模型将正样本排名高于负样本的概率。AUC为1代表模型完美区分正负例，为0.5意味着模型等同于随机猜测，通常AUC大于0.7认为模型有效，越接近1说明模型综合性能越优。这个指标的优势在于能够综合考量模型在所有分类阈值下的表现，且不受类别分布不平衡的影响，是衡量模型排序能力的黄金标准。对AUC值的概率学解释用公式表示如下：

$$AUC = P(score_{positive} > score_{negative})$$

为了获得ROC图像，我们只需要在算法源代码后面加上以下代码（只展示了KNN算法的ROC代码，SVM的省略）：

```
from sklearn.metrics import roc_curve, auc
import matplotlib.pyplot as plt

# 将真实标签转换为numpy数组
y_true = np.array(y_test)

# 绘制每个类别的ROC曲线
plt.figure(figsize=(8, 6))
```

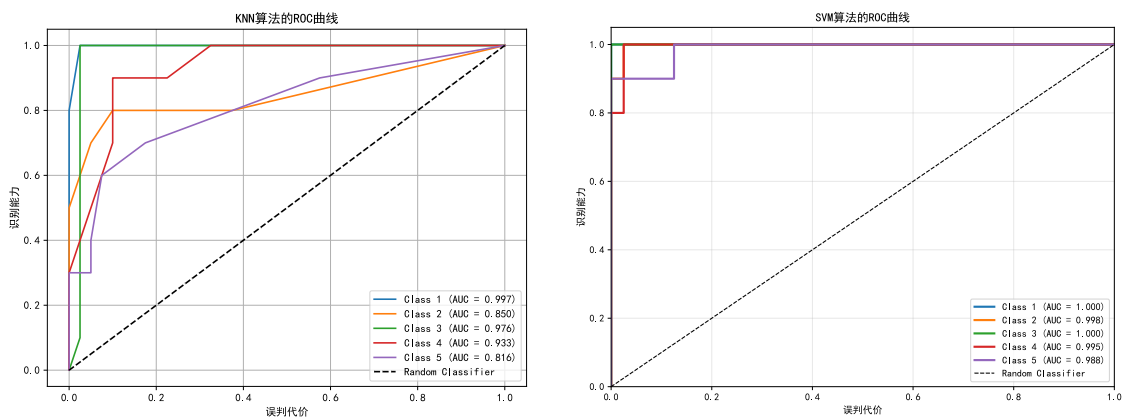
```

for i in range(len(clf.classes_)):
    fpr, tpr, _ = roc_curve(y_true == clf.classes_[i], y_predict_proba[:, i])
    auc_score = auc(fpr, tpr)
    plt.plot(fpr, tpr, label=f'Class {clf.classes_[i]} (AUC = {auc_score:.3f})')

plt.plot([0, 1], [0, 1], 'k--', label='Random')
plt.xlabel('误判代价')
plt.ylabel('识别能力')
plt.title('KNN算法的ROC曲线')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.savefig("roc.svg")
plt.show()

```

可绘制KNN和SVM算法的ROC曲线，如下：



由各类AUC计算结果可知，该KNN算法和SVM算法的宏平均AUC分别为0.9298和0.9462。由此可见，SVM算法的效果更好。

4. 聚类算法实验

4.1 K-Means聚类算法

4.1.1 算法介绍

K均值聚类（K-Means Clustering）是一种经典的无监督学习算法，其目标是将一组数据点划分为 K 个簇（Cluster），使得同一簇内的样本相似度高（距离近），不同簇间的样本相似度低（距离远）；算法通过迭代优化的方式，先随机初始化 K 个质心，然后将每个样本分配到距离最近的质心所在的簇，并更新质心位置，直到质心不再明显变化或达到最大迭代次数；K-Means 简单高效，适用于大规模数据集的数据分组、模式发现和数据压缩等任务，但对初始质心敏感、需要预先指定 K 值、且对异常值和簇的形状较为敏感。

4.1.2 实现过程

基于kmeans.py代码实现：

```

# 创建K-Means聚类器
kmeans = KMeans(n_clusters=5, random_state=43, n_init=50)

```

```
# 拟合模型
kmeans.fit(x_train)
# 获取聚类标签
y_pred = kmeans.labels_
```

- **无监督学习**: 仅使用特征数据, 不依赖标签信息
- **聚类过程**: 迭代优化簇中心, 最小化簇内平方和
- **结果输出**: 为每个样本分配簇标签

4.1.3 聚类质量评估

本次聚类实验的ARI和轮廓系数结果:

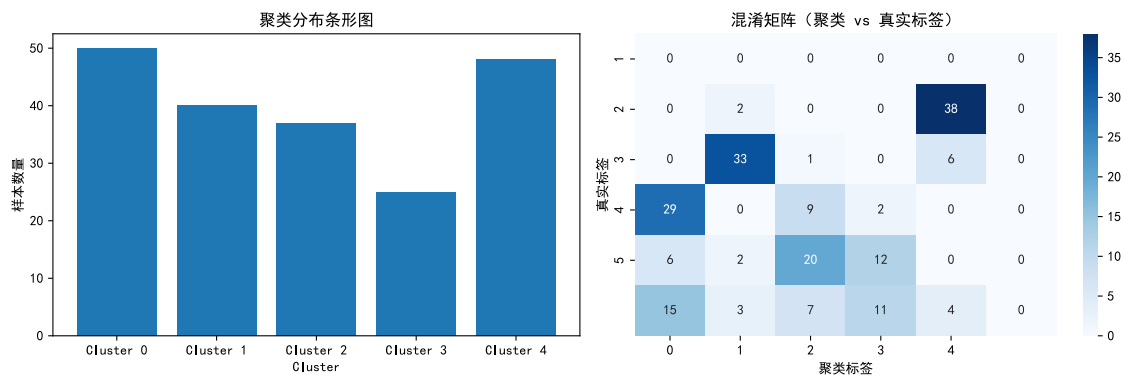
聚类结果:

```
[4 2 4 4 4 4 2 0 3 3 2 4 4 0 0 0 0 4 4 1 4 2 0 3 1 2 1 3 4 1 0 3 4 2 1 3
 3 4 0 1 3 0 2 1 0 0 1 0 3 3 3 0 4 2 4 4 4 2 2 4 2 3 2 3 1 3 4 4 0 3 1 3 0
 3 4 0 4 4 0 4 1 2 1 2 1 2 1 4 0 4 1 0 2 2 0 3 0 1 4 2 2 1 4 4 0 0 2 1 2 3
 1 4 2 0 1 1 3 1 4 4 1 0 4 4 3 1 4 4 1 2 0 2 0 4 3 2 0 4 1 0 2 2 0 2 1 0 0
 2 4 4 0 1 1 0 4 1 0 0 2 1 0 0 0 2 0 0 4 1 1 1 2 1 1 0 1 3 4 3 2 0 2 4 0 2
 0 4 2 0 1 1 3 2 0 0 4 0 0 1 4]
```

调整兰德指数 (ARI) : 0.4220

轮廓系数 (Silhouette Score) : 0.1487

以下为聚类分布条形图和混淆矩阵 (代码略) :



使用多种指标评估聚类效果: **兰德指数(ARI)**: 兰德指数 (ARI) 用于衡量你的聚类结果 (比如 K-Means 的标签) 与真实标签 (Ground Truth) 之间的一致性, 值越接近 1 表示聚类结果与真实情况越吻合。计算公式如下:

$$ARI = \frac{(\text{实际一致的对数}) - (\text{期望一致的对数})}{(\text{最大可能一致的对数}) - (\text{期望一致的对数})}$$

在Python中调用sklearn.metrics库, 利用以下即可计算ARI值:

```
ari = adjusted_rand_score(true_labels, kmeans_labels)
```

由输出结果可知, 本次聚类的ARI约为0.42, 聚类质量偏中低等, 并不理想。

轮廓系数: 轮廓系数用于评估聚类结果本身的质量, 是一种不需要真实标签的无监督评估, 它衡量的是:

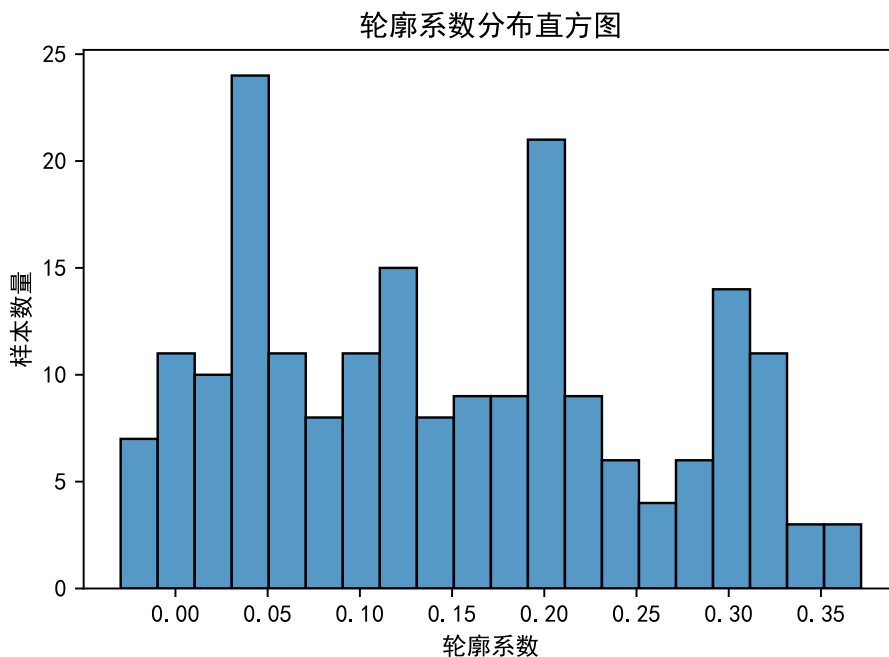
- 每个样本与其所属簇内其他样本的相似度 (紧密度)
- 以及与最近的其他簇的差异度 (分离度) 计算公式如下:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))}$$

Python代码如下：

```
silhouette_avg = silhouette_score(X, kmeans_labels)
```

轮廓系数的可视化图像——分布直方图：



簇内平方和: 簇内平方和是指所有样本到其所属簇中心的距离平方和，计算公式如下：

$$WCSS = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - c_k\|^2$$

主成分分析: PCA（主成分分析）是一种降维方法，用于将高维数据转换为低维数据（比如从 10 维 → 2 维），常用于：

- 数据可视化
- 去除冗余特征
- 提升模型效率
- 观察数据的分布与聚类结构

主成分分析的核心步骤如下：

(1) 协方差矩阵

$$\Sigma = \frac{1}{n} X^T X$$

(2) 特征分解（求主成分方向和方差）

$$\Sigma v_k = \lambda_k v_k$$

- v_k ：第 k 个主成分方向（特征向量）
- λ_k ：第 k 个主成分的方差（特征值）

(3) 选择前 k 个主成分，降维投影

$$Z = XW, \quad \text{其中} \quad W = [v_1, v_2, \dots, v_k]$$

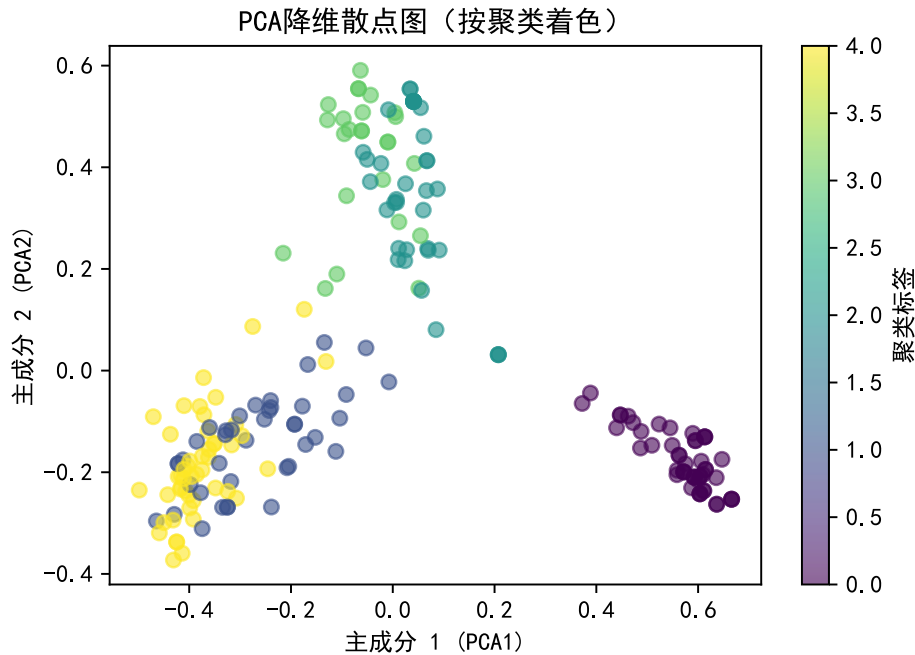
- Z : 降维后的数据 (主成分得分)
- W : 前 k 个主成分方向组成的矩阵

(4) 或通过 SVD (奇异值分解)

$$X = U\Sigma V^T$$

- 主成分方向为矩阵 V 的列

本实验中利用主成分分析(PCA)对聚类结果进行降维，以直观展示可视化分析，如图：



4.2 聚类结果分析

本次KMeans聚类共将样本划分为5个簇（簇标签为0至4）。聚类结果的调整兰德指数（ARI）为0.4220，表明聚类结果与潜在真实分组（如有）之间存在中等程度的相似性，聚类结构与参考标签有一定对应关系，但一致性未达到强相关水平。轮廓系数（Silhouette Score）为0.1487，处于较低范围，说明样本在其所属簇内的紧密程度一般，且簇与簇之间的区分度有限，整体聚类结构的内部凝聚性和分离性较弱，初步推测是由于数据集不适合聚类处理。

5. 实验代码

5.1 KNN 分类模型源代码

```
import pandas as pd

# 1、获取数据
all_pd_data = pd.read_excel("./gastric.xlsx", engine="openpyxl")
print(all_pd_data)

# * 加载停用词
with open("./stop_words.txt", 'r', encoding="utf-8") as f:
    stop_words = list(l.strip() for l in f.readlines())
stop_words.extend(['\n', '(', ')', ' ', ''])
print(stop_words)
```

```

# 2、数据预处理
# * 对中文文本进行分词
import jieba as jb
from sklearn.model_selection import train_test_split

all_pd_data['Cut_Text'] = all_pd_data['Text'].apply(
    lambda x: " ".join([w for w in list(jb.cut(x)) if w not in stop_words]))
print(all_pd_data)
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(all_pd_data['Cut_Text'],
    all_pd_data['Label'], test_size=0.2, stratify=all_pd_data['Label'])

# 3、特征工程
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer

transfer = TfidfVectorizer(stop_words=stop_words)
x_train = transfer.fit_transform(x_train)
x_test = transfer.transform(x_test)
print("文本特征抽取的结果: \n", x_train)
feature_names = transfer.get_feature_names_out()
print("返回特征名字: \n", feature_names)
x_train_feature = feature_names.tolist()
y_train = list(y_train)
y_test = list(y_test)
print(x_train.shape)

# 4、构建KNN模型
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier

clf = KNeighborsClassifier(n_neighbors=10)
clf.fit(x_train, y_train) # 训练数据
y_predict = clf.predict(x_test)

# 5、评估模型
from sklearn.metrics import classification_report

print(classification_report(y_predict, y_test))

```

5.2 SVM 分类模型源代码

```

import pandas as pd

# 1、获取数据
all_pd_data = pd.read_excel("./gastric.xlsx", engine="openpyxl")
print(all_pd_data)

# * 加载停用词
with open("./stop_words.txt", 'r', encoding="utf-8") as f:
    stop_words = [l.strip() for l in f.readlines()]

```

```

stop_words.extend(['\n', '(', ') ', ' '])
print(stop_words)

# 2、数据预处理
# * 对中文文本进行分词
import jieba as jb

all_pd_data['Cut_Text'] = all_pd_data['Text'].apply(
    lambda x: " ".join([w for w in list(jb.cut(x)) if w not in stop_words])
)
print(all_pd_data)

from sklearn.model_selection import train_test_split

x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(
    all_pd_data['Cut_Text'],
    all_pd_data['Label'],
    test_size=0.2,
    stratify=all_pd_data['Label']
)

# 3、特征工程
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer

transfer = TfidfVectorizer(stop_words=stop_words)
x_train = transfer.fit_transform(x_train)
x_test = transfer.transform(x_test)
print("文本特征抽取的结果: \n", x_train)
feature_names = transfer.get_feature_names_out()
print("返回特征名字: \n", feature_names)
x_train_feature = feature_names.tolist()
y_train = list(y_train)
y_test = list(y_test)
print(x_train.shape)

# 4、构建SVM模型
from sklearn.svm import SVC

clf = SVC(kernel='linear', C=1.0)
clf.fit(x_train, y_train)
y_predict = clf.predict(x_test)

# 5、评估模型
from sklearn.metrics import classification_report

print(classification_report(y_predict, y_test))

```

5.3 K-Means 聚类模型源代码

```

import pandas as pd

# 1、获取数据
all_pd_data = pd.read_excel("./gastric.xlsx", engine="openpyxl")
print(all_pd_data)

# * 加载停用词
with open("./stop_words.txt", 'r', encoding="utf-8") as f:
    stop_words = [l.strip() for l in f.readlines()]
stop_words.extend(['\n', '(', ')', ' '])
print(stop_words)

# 2、数据预处理
# * 对中文文本进行分词
import jieba as jb

all_pd_data['Cut_Text'] = all_pd_data['Text'].apply(
    lambda x: " ".join([w for w in list(jb.cut(x)) if w not in stop_words])
)
print(all_pd_data)

from sklearn.model_selection import train_test_split

x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(
    all_pd_data['Cut_Text'],
    all_pd_data['Label'],
    test_size=0.2,
    stratify=all_pd_data['Label']
)

# 3、特征工程
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer

transfer = TfidfVectorizer(stop_words=stop_words)
x_train = transfer.fit_transform(x_train)
x_test = transfer.transform(x_test)
print("文本特征抽取的结果: \n", x_train)
feature_names = transfer.get_feature_names_out()
print("返回特征名字: \n", feature_names)
x_train_feature = feature_names.tolist()
print(x_train.shape)

# 4、构建 K-Means 模型
from sklearn.cluster import KMeans

kmeans = KMeans(n_clusters=2, random_state=42, n_init=10)
kmeans.fit(x_train)

# * 获取聚类结果
y_pred = kmeans.labels_

```

```
print("聚类结果: \n", y_pred)

# 5、评估模型（仅在有标签时可用于评估）
from sklearn.metrics import adjusted_rand_score, silhouette_score

ari = adjusted_rand_score(y_train, y_pred)
print(f"调整兰德指数 (ARI): {ari:.4f}")
sil = silhouette_score(x_train, y_pred)
print(f"轮廓系数 (Silhouette Score): {sil:.4f}")
```

6. 实验总结与展望

6.1 主要成果

本次实验，我通过机器学习算法，对一个病理诊断数据集进行分类和聚类，并利用可视化技术绘制了不同算法的质量评估、性能对比图像，用于分析算法处理的结果。

6.2 结果分析与未来工作

根据图像可知，KNN算法和SVM算法的结果较好，且SVM算法的效果更优于KNN算法；但K-Means算法的结果较差。我需要继续优化分类算法，例如使用交叉验证调整超参数k的值，达到更好的分类结果；并完善K-Means聚类算法，或者尝试不同的数据集，以达到理想的聚类结果。

完成时间： 2025年11月6日

备注： 为了证明本作业的原创性，该项目的所有代码、设计稿、Markdown格式文档等均公开，项目已开源到Github平台。项目作者为圣逸凡，开源协议为GPLv3，可访问[该链接](#)查看源代码。