单位代码： 10293 密 级：



硕 士 学 位 论 文



论文题目： 基于机器学习的文本分类研究与实现

学号

姓名

导师

学科专业

研究方向

申请学位类别

论文提交日期

1015010603

王振

邱晓晖

信号与信息处理

申请 文本分类

申请 工学硕士

2018年5月

Text Classification Based on Machine Learning

Thesis Submitted to Nanjing University of Posts and Telecommunications for the Degree of

Master of Engineering



By

Wang, Zhen

Supervisor: Prof. Xiaohui, Qiu

May 2018

南京邮电大学学位论文原创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京邮电大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

本人学位论文及涉及相关资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

研究生签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

南京邮电大学学位论文使用授权声明

本人授权南京邮电大学可以保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档；允许论文被查阅和借阅；可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索；可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编本学位论文。本文电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。论文的公布（包括刊登）授权南京邮电大学研究生院办理。

涉密学位论文在解密后适用本授权书。

研究生签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 导师签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**摘要**

随着互联网技术的迅猛发展，网络上的数据呈现爆炸式的增长，而其中以文本数据居多。随着大数据时代来临，人工分类已经无法满足时代的需要，如何对众多的文本进行快速且准确的分类，成为了研究的热点。

本文主要研究基于机器学习理论的文本分类技术，通过常见的机器学习方法对文本分类问题进行解析。文本分类结果的好坏主要取决于特征选择的好坏和分类器的选择，目前常用的特征选择方法存在低频词敏感的问题，常用分类器如SVM存在组合策略对类别敏感的问题。本文主要对这两部分进行研究，具体内容如下：一是采用词频因子解决CHI方法低频词敏感的问题，运用调节参数降低MI方法类别敏感的缺点，集合两种方法的优点，提出CHMI方法。二是分析SVM分类器中的“一对一”组合策略缺点，即训练中二分类器对不是当前类别的其他类别的影响效果较差。本文提出利用余弦相似度计算文本之间的相似度，在用二分类器进行分类判别时去除与待分类文本最不相似的类别，从而提升分类准确率。三是分析常见核函数的原理与性质，不同的核函数对SVM分类器的影响不同，考虑多项式核函数和高斯核函数的互补性质，构建一个既考虑到局部特征又兼顾到整体特征的混合核函数。

最后，通过搭建文本分类系统，对研究的内容进行仿真实验，通过对查准率、查全率的比较，验证本文方法的有效性和可行性。

**关键词：文本分类，特征选择，支持向量机，核函数**

**Abstract**

With the rapid development of Internet technology, the data on the Internet has exploded, of which most of the text data. With the advent of the era of big data, artificial classification can no longer meet the needs of the times. How to classify numerous texts quickly and accurately has become a hot research topic .

This thesis mainly studies the text classification technology based on machine learning theory, and analyzes the text classification problems by common machine learning methods. The quality of the text categorization depends on the quality of the feature selection and the choice of the classifier. At present, the commonly used feature selection methods have the problem of low frequency words sensitive. The commonly used classifiers such as SVM have the problem of category-sensitive The mainly research content is as follows :First one is to use the word frequency factor to solve the problem of low frequency word sensitivity of CHI method. Besides, the disadvantage of MI method is reduced by adjustment parameter. The CHMI method have been proposed by mixing the two improved method. The second one is to analyze the shortcomings of "one to one" combination strategy in SVM classifier. The training class II classifier has less effect on other classes that are not the current class. It proposes using cosine similarity to calculate the similarity between texts, Classifier to distinguish the classification is to remove the most similar to the text to be classified category, thereby improving the classification accuracy. The third one is to analyze the principle and properties of common kernel functions. Different kernel functions have different effects on SVM classifiers. Considering the complementary properties of polynomial kernel functions and Gaussian kernel functions, a hybrid kernel that takes both local and global characteristics into account function.

Finally, through the establishment of a text classification system, the contents of the research are simulated, and the efficiency and feasibility of the proposed method are verified by comparing the precision and recall rate.

**Key words:** text classification, feature selection, support vector machine, kernel function

**目录**

[专用术语注释表 V](#_Toc344105964)

[第一章 绪论 1](#_Toc344105965)

[1.1 研究背景与意义 1](#_Toc344105966)

[1.2 国内外研究现状与发展趋势](#_Toc344105969) 1

[1.3 本文主要内容](#_Toc344105972) 3

[1.4 本文的章节安排](#_Toc344105972) 3

[第二章 文本分类技术](#_Toc344105973) 5

[2.1 文本分类的定义](#_Toc344105974) 5

[2.2 文本分类的流程](#_Toc344105977) 5

[2.3 文本预处理](#_Toc344105980) 6

[2.3.1 文本标记的处理](#_Toc344105981) 6

[2.3.2 分词处理](#_Toc344105982) 7

[2.3.3 去除停用词](#_Toc344105982) 8

[2.4 文本表示及模型](#_Toc344105983) 8

[2.4.1 文本表示](#_Toc344105982) 9

[2.4.2 文本表示模型](#_Toc344105982) 9

[2.5 特征选择技术](#_Toc344105983) 11

[2.6 常用分类器方法](#_Toc344105983) 11

[2.6.1 朴素贝叶斯分类器](#_Toc344105982) 12

[2.6.2 K—最近邻算法](#_Toc344105982) 13

[2.6.3 类中心向量方法](#_Toc344105982) 14

[2.6.4 决策树算法](#_Toc344105982) 14

[2.6.5 神经网络方法](#_Toc344105982) 15

[2.6.6 支持向量机（SVM）](#_Toc344105982) 16

[2.7 分类性能评价指标](#_Toc344105983) 16

[2.7.1 查准率和查全率](#_Toc344105982) 16

[2.7.2 F值](#_Toc344105982) 17

[2.7.3 宏平均和微平均](#_Toc344105982) 18

[2.7.4 EBP（Break-even point）](#_Toc344105982) 18

[2.8 本章小结](#_Toc344105983) 19

[第三章 特征选择方法](#_Toc344105984) 20

[3.1 特征选择方法概述](#_Toc344105985) 20

[3.2 常见特征选择方法](#_Toc344105988) 20

[3.2.1 文档频率（DF）](#_Toc344105989) 20

[3.2.2 信息增益（IG）](#_Toc344105990) 21

[3.2.3 互信息（MI）](#_Toc344105990) 22

[3.2.4 卡方统计量（CHI）](#_Toc344105990) 23

[3.3 改进的混合特征选择方法](#_Toc344105991) 24

[3.3.1 CHI方法的不足](#_Toc344105992) 24

[3.3.2 词频因子的引入](#_Toc344105993) 24

[3.3.3 MI方法的不足](#_Toc344105990) 25

[3.3.4 调节因子的提出](#_Toc344105990) 26

[3.3.5 改进的混合特征选择方法](#_Toc344105990) 25

[3.4 本章小结](#_Toc344105994) 27

[第四章 基于SVM的二分类器研究 28](#_Toc344105995)

[4.1 SVM理论基础 28](#_Toc344105996)

[4.1.1 VC维理论 28](#_Toc344105997)

[4.1.2 结构风险最小化原则](#_Toc344105998) 29

[4.2 SVM类别](#_Toc344105999) 30

[4.2.1 线性支持向量机](#_Toc344106000) 30

[4.2.2 非线性支持向量机](#_Toc344106001) 33

[4.3 SVM核函数](#_Toc344106002) 35

[4.4 SVM多分类方法的改进](#_Toc344106002) 36

[4.4.1 多类分类问题原理](#_Toc344106001) 36

[4.4.2 一对一方法的组合策略](#_Toc344106001) 37

[4.4.3 改进的一对一组合策略](#_Toc344106001) 39

[4.5 本章小结](#_Toc344106005) 40

[第五章 文本分类系统的实现与仿真](#_Toc344106006) 41

[5.1 仿真平台说明](#_Toc344106007) 41

[5.1.1 硬件与软件情况介绍](#_Toc344106008) 41

[5.1.2 Python文本处理技术](#_Toc344106009) 41

[5.2 仿真系统的设计与搭建](#_Toc344106010) 42

[5.2.1 数据集](#_Toc344106011) 42

[5.2.2 特征选择](#_Toc344106012) 42

[5.2.3 分类训练](#_Toc344106012) 43

[5.3 仿真结果分析](#_Toc344106013) 43

[5.3.1 特征选择方法分类效果比较](#_Toc344106014) 43

[5.3.2 SVM组合策略仿真结果分析](#_Toc344106015) 48

[5.3.3 一种改进的SVM核函数](#_Toc344106015) 50

[5.4 本章小结](#_Toc344106016) 53

[第六章 总结与展望](#_Toc344106017) 54

[6.1 工作总结](#_Toc344106016) 54

[6.2 研究期望](#_Toc344106016) 54

[参考文献](#_Toc344106018) 56

[附录1 攻读硕士学位期间撰写的论文](#_Toc344106020) 59

[致谢](#_Toc344106023) 60

# 专用术语注释表

**缩略词说明：**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| CHI | Chi-square Statistic | 卡方统计量 |
| MI | Mutual Information | 互信息 |
| DF | Document Frequency | 文档频率 |
| IG | Information Gain | 信息增益 |
| NB | Naïve Bayes | 朴素贝叶斯 |
| SVM | Support Vector Machine | 支持向量机 |
| KNN | K-nearest neighbor | K最近邻 |
| NN | Neural Networks | 神经网络 |

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景与意义

近几年来，随着互联网的蓬勃发展，尤其是移动智能终端的普及，我们的社交、工作、学习、娱乐、出行、购物等都充满了互联网的身影。全世界现在有超过30亿网民，而且这个数量还在不断增加。我国从2013年开始进入4G网络时代，并且规划在10年内进入5G时代，这意味着我们能随时随地使用各种电子设备享受便捷的网络服务。根据2017年6月我国发布的统计报告，我国网民数量已经达到了7.51亿，互联网正在逐渐取代传统媒介称为人们日常生活中获取信息的主要来源­。

然而，随着互联网需求的不断增加，网络中的信息量飞速增长。互联网中网页信息80%以上以文本形式存在。文本信息资源作为非常重要的信息类型之一，是人们处理信息资源的重点研究对象之一。想要快速的在互联网中区分和找准信息，就必须对文本信息资源进行分类判断，文本自动分类技术因此得到诞生和发展[1][2]。文本自动分类是数据挖掘的技术分支之一，作为处理海量信息的重要手段，文本自动分类很大程度上降低查找信息的困难，快速准确地给用户提供想要的信息内容。也就是通过文本自动分类技术，取代传统的、低效的人工分类方法，对文本信息进行快速而准确的分类，提高利用效率。倘若计算机能够帮助人们预处理一些信息的内容判断的工作，那必定会给人们的工作和学习带来非常大的帮助和支持，并将缓解人们当前无法充分利用信息的尴尬情况。

目前，文本自动分类技术已经被其广泛应用，在很多领域都发挥着重要作用，例如搜索引擎、垃圾邮件过滤、主动信息推送服务等[3][4][5]。政府可以通过分析公民在社会问题上的在线文本来做出更为公开的决定，公司可以通过分析在线产品评估来识别产品缺陷并预测市场需求，消费者可以通过确定大量在线产品的情绪取向来做出适当的采购决策评论。

因此，针对互联网上海量的、杂乱无章的网页信息资源，利用计算机自动对网页中的文本信息进行分类的必要性就体现了出来，对文本分类技术进行深入研究无论从理论还是实际领域都有重要的意义。

## 1.2 国内外研究现状与发展趋势

文本分类的思想一开始是从信息检索系统演变而来，信息检索是指人们共享不同行业之间的信息时需要提取自己感兴趣的信息[6]。但是，信息的类别十分繁多、冗杂，如何从大量复杂的信息中快速获取有效的信息就变得非常重要。

自动文本分类的研究始于20世纪中期，1958年，美国Luhn提出了采用词频统计来提取摘要的思想，他采用词语的频率与分布信息来估计每个词语的相对重要性[7]。然后再估计每个句子的相对重要度，得分高的句子就被抽取为摘要。1960年，Maron和Kuhns提出了自动关键词分类技术[8]，这是第一篇关于文本分类的文章，对文本分类领域的研究与发展起到了非常深远的影响。他们开创性地提出了朴素贝叶斯分类方法，是一种基于概率的分类方法。在此之后，很多著名的情报学家例如Sparck和Salton等也在文本分类领域取得了卓有成效的研究[9]。

20世纪80年代前，因为技术发展的限制，文本分类大多是基于知识工程的，也就是需要专家人工构建知识工程技术，才能保证分类的有效性[10]。专家制定分类规则是基于知识工程技术分类系统最主要的特点，这些分类规则的重新组合就构成了一个完整的分类系统。由此可以看出，这种分类系统需要大量的专家和知识工程师参与，分类效率和分类准确度都十分低下，而且由于专家研究领域的局限性，这种分类系统的适应性往往也不强[11]。

1990年以来，随着信息技术的快速发展，互联网在人们的生活中占据越来越多的比重，随之而来的信息大爆炸，传统的基于知识工程的分类系统无法处理这种快速增加的数据量。同时，因为机器学习技术的发展，基于机器学习和基于统计的方法正逐渐取代传统方法成为主流的文本分类技术，这也是现在的分类系统的基础。这种分类方法主要通过某种特征选择方法，从训练集中归纳或选择某些特征构成特征集合，以此来创建分类器[12][13]。这种方法把人们从传统的手工分类中解放了出来，节约了大量的人力物力，成本更低，同时还提高了分类的准确度。

国外的文本分类技术的研究与发展大体可以分为如下三个阶段：第一个阶段进行自动文本分类的可行性与意义的研究，主要时间为1958-1964年；第二个阶段进行实验探索自动文本分类的合理性，主要时间为1965-1974年；第三个阶段进行自动文本分类研究的应用，主要时间为1975-现今；国外的分类系统已经从最初的可行性探索完成到现在的实用化阶段[14]。目前，国外已经有很多可以应于文本分类应用研究的大型商业挖掘软件，例如SAS、SPSS、KXEN等[15]。

我国对于自动文本分类的研究进展要比国外慢很多。一方面，这是因为我国对于文本分类的研究起步较晚。据了解，1981年，南京林业大学的侯汉清教授开启了自动文本分类的探索之路[16]。从基础知识入手，介绍了国外的文本分类技术的发展趋势，清楚地认识到这项技术的重要研究意义。随着技术的发展和研究的深入，中国科学院、清华、北大、哈工大等知名大学都成立了专门研究自动文本分类技术的重点实验室。到目前，我国已经有了基于数据挖掘、大数据分析、机器学习等的文本分类技术。另一方面，因为中文和英文的巨大差异造成的。英文的单词之间有空格分割开来，中文主要是以句分开的，词与词之间则是连续的，没有自然的界限，相比英文分类，中文文本分类要先进行预处理，对连续的词进行分词操作。除此之外，在文本分类中研究英文的语法分析与句法分析的比值要小于中文的语法分析与句法分析之比，这也一定程度上加大了中文文本分类的研究难度[17][18][19]。总的来说，我国的文本分类技术的发展也经历了三个阶段[20]：第一个阶段是研究与模仿国外的研究成果；第二个阶段是完善已有的分类技术；第三个阶段是面向中文的发展阶段。

经过几十年的发展，文本分类技术取得了非常大的进步。自动文本分类技术也正在被应用在各个领域，正在影响着人们的生活和学习，有了很好的实践意义和实用的价值，很多优秀的文本分类系统被研究者提出。然而就文本分类而言，仍有可以改进的空间，尤其是特征选择和特征降维方面，还有很多工作可以开展。

## 1.3 本文主要内容

本文对文本分类技术进行了详细的探讨和研究，包括文本预处理、文本表示模型、特征选择技术、分类器的选择等。由于特征选择技术在文本分类过程中占有着重要的地位，特征选择的好坏直接影响着最终的分类准确度和分类效率，所以本文对特征选择部分进行了详细的介绍，并提出一种混合CHI和MI的改进特征选择方法，克服CHI和MI针对低频词敏感的缺点，提高特征选择的效果。接着本文重点研究了文本分类的算法，介绍主流的文本分类算法，包括朴素贝叶斯算法、K-最近邻算法、决策树算法和支持向量机算法，其中支持向量机算法对海量数据的处理效果最佳，本文也对支持向量机进行重点研究。主要介绍一对一策略下的支持向量机的算法，针对一对一策略算法的只对当前处理的两个类别敏感的缺点，提出使用余弦相似度来计算不同文档之间的相似度，对不同类别文档有所取舍，从而降低类别敏感的影响，最终提高分类的准确性和分类效率。

## 1.4 本文的章节安排

本文主要研究基于机器学习的文本分类技术，所有内容都围绕研究课题展开，具体可分为六个章节，论文的结构以及各章节的主要内容如下：

第一章 绪论。主要介绍本课题的研究背景与研究意义。接着介绍了本课题的国内研究现状以及未来的发展趋势，最后对本文的章节安排进行了简单的介绍。

第二章 文本分类技术。主要是对文本分类技术的介绍，包括文本分类的基本流程，文本的预处理技术，常用的文本表示模型，以及基本的特征选择技术的介绍，还有常见的分类器选择问题，最后介绍文本分类中方法好坏的评估标准。为后文的研究工作奠定基础。

第三章 混合特征选择方法。主要介绍当前常用的特征选择方法，并分析常见特征选择方法的不足，提出一种改进的混合特征选择方法。其中针对卡方分布特征选择方法和互信息特征选择方法对低频词敏感的缺点，分别引入调节因子，然后混合改进后的两种特征选择方法。

第四章 基于SVM的二分类器处理。介绍SVM中常用的一对一策略，分析一对一策略的缺点，对于不是当前正在处理的两个类别的文档来说，会对分类器的判断造成影响，甚至会影响最终的判断。本文提出了一种使用余弦相似度来判断文档相关程度的方法，去除不相关的文档，提高判断准确率。

第五章 基于机器学习的文本分类系统实现与仿真。通过搭建一个文本分类系统，对前面几章研究的改进方法进行实验验证，分别对比常用特征选择方法和常见的分类器策略与本文研究的方法处理后的分类准确率、召回率和F测度值。验证本文研究方法的有效性和实用性。此外，针对SVM核函数的构成特点，分析多项式核函数和高斯核函数的特点，提出一种新的混合核函数并对新的核函数的效果进行实验验证。

第六章 总结与展望。

# 第二章 文本分类技术

## 2.1 文本分类的定义

分类是指将具有相同属性和特征的对象划分为同一个类别的过程和方法。从语法层次解释，文本是由词、短语、句子和段落组成的书面表达形式。文本分类是指进行分类的对象是文本，预先定义好文本的类别，然后根据待分类文本的内容将文本划分到预先定义好的类别中的过程[21]。文本分类是一种典型的有监督机器学习方法，即分类的类别一开始就已经确定。文本分类的任务可以简单的总结为：在给定了分类体系情况下，根据待分类文本的特征，总结出分类规律。当需要对文本进行分类时，只需要根据总结出的分类规律进行判断，就可以把待分类的文本划分到对应的类别中去[22]。

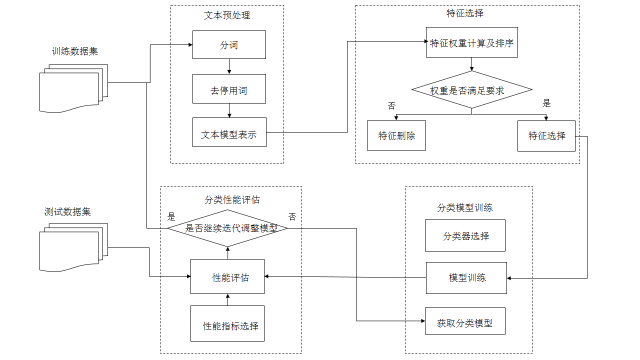
文本分类的过程类似于数学上的函数映射，分类的过程就是将未分类的文本映射到预定义的类别中的过程。文本分类可以形式化定义为：待分类文本可以用集合D表示，，其中，表示第n个待分类文本 ，n表示待分类文本的个数[23]。形式化是指分析、研究思维形式结构的方法。预定义的类别用集合C表示，，其中表示类别，m表示类别的种类。利用某种机器学习方法，可以得到一个分类函数f，能够把文本集合D中的每一篇文本都映射到类别集合C中的一个或者多个类别：

 （2.1）

需要注意的是，待分类文档到预定义类别的映射可以是一对一的映射，也可以是一对二的映射。另外，还可以是一对多的映射，一般将多类映射转换为一对二映射进行处理。

## 2.2 文本分类的流程

文本分类一般要经历下面几个过程，分别是文本预处理、特征选择、分类模型训练、分类模型判断，性能评估等。文本分类流程图见图2.1[24]。

图2.1 文本分类的一般流程

文本预处理部分主要是对文本进行分词，去除停用词等对分类意义不大的信息，比如标点符号、数字和特征字符等，接着使用对应的文本模型进行表示，将文本表示成一种机器可以读的模式，方便后面的处理[25][26][27]。特征选择部分主要是先对特征进行降维，降低训练的运算量，然后对特征进行有用性的排序和筛选，构成一个特征子集[28]。分类模型训练阶段主要是对分类器进行选择，使用训练数据集进行模型的训练，得到分类模型，最后使用分类模型对测试数据集进行分类性能评估，根据分类性能评估的结果对分类器进行修正[29][30]。

## 2.3 文本预处理

文本预处理是文本分类过程中的必要过程，在正式开始进行分类之前，用来将各类文本转换为适当的文本表示形式，主要包括文本标记的处理、分词的处理和去除停用词处理。

### 文本标记的处理

通常来说，文本中除了表示内容的文本信息之外，还包含一些控制文本显示形式的标记、图像、标点符号、声音、动画等媒体信息，还有可能是乱码。这些标记与文本的内容无关，只是对文本的内容进行包装，没有有效的分类信息，对纯文本的分类处理对象来说，这些标记就是噪声信息。在文本预处理阶段，就要去除这些对分类没有贡献的噪声标记。

### 2.3.2分词处理

在文本分类的过程中，需要先将文本中的句子分割成一个一个单词，然后对单个的单词进行处理，这个过程称为词条化。对英文文本进行词条化处理的时候，主要是根据空格、标点符号就可以达到分割的目的。举个简单的例子，I love text classification.对这句话进行词条化后，变为I / love / text / classification这几个单词。在中文中，由于中文文本的句子中的词与词之间，并没有英文的单词之间有天然的空格分割，所以对中文文本进行词条化需要进行分词。中文文本分词技术一般可以定义为：把连续的中文词组成的句子拆分成一个个含有独立意义的词语。文本分词技术是中英文文本自动分类研究的主要区别，也是信息检索、数据挖掘技术的基础。

中国文字博大精深，相同的词语换个位置，表达的语义就可能发生了变化，句子的形式也是千变万化，所以中文的分词技术也是多种多样。中文分词技术一般是利用某种分词算法，在连续的字或者词组成的句子中添加空格，使之分离成独立的词语。目前中文分词技术主要有三种：基于词频统计的分词技术、基于字典匹配的分词技术和基于理解的分词技术[31][32]。

（1）基于词频统计的分词技术

在中文中，词语是字的组合，相邻的字在文中出现的次数越多，那么相邻的字就越有可能组成一个词语，所以我们可以用相邻的字与字出现的概率来判断相邻的字是否能够组成一个词语[33]。基于词频统计的分词方法就是以这个理论为依据，将分类字符串中的字的组合频率进行统计，当这个组合频率高于一定的阈值时，就判断字的组合是可以组成一个词语的，否则认为这个字的组合无法组成一个词语。这种分词方法又称为无字典分词方法，因为这种分词方法并不需要字典，只需要统计字的组合的频率即可。也正因为没有字典的存在，这种分词方法只认频率高的组合为词，这就导致经常出现识别出很多频率很高，但并不是有意义的词的情况。除此之外，汉语语言的复杂性、高频使用的词语的数量和类别随着时间会进行变化都导致这种分词方法的时空消耗很大。

（2）基于字典匹配的分词技术

基于字典匹配的分词技术又称为机械式分词技术，该技术把待分类文本中的字符串使用某种方法与字典中的词语进行机械式的匹配，如果在字典中发现了这个字符串，则表示识别出一个词语，如果找不到匹配词语，则将字符串分开作为单个字输出。根据对中文文本字符串的扫描方向来划分，基于字典的分词方法可以分为正向匹配、逆向匹配和双向匹配。根据匹配长度优先策略来划分，基于字典的分词方法可以分为最大匹配和最小匹配。基于字典的分词方法有着分词算法简单、分词效率也较高的优点；但是这种方法的分词正确率主要由字典的完整度和正确性来决定，分词字典的不完备、规则不一致都会导致分词正确率下降，无法处理大规模的文本信息的问题，这是基于字典的分词方法的主要劣势。

（3）基于理解的分词技术

基于理解的分词技术的主要思想是用计算机模拟人的语言理解能力，需要理解句子的含义，对待分类文本进行分词处理的时候，不仅仅只考虑词语是否有含义的情况，还要进行句法和语义的分析，尽量消除歧义的情况。基于理解的分词技术主要包含三个部分：分词子系统、句法语义子系统和总控系统。这种分词方法的一般流程是：利用总控系统协调控制分词操作，句法语义子系统对待分析文本进行句法和语义的分析，最后分词子系统进行分词和歧义情况的处理。基于理解的分词技术需要海量的语言库作为技术支撑，但由于中文语言的复杂性，目前这种方法还处在研究试验阶段，距离实际的应用还任重道远。

### 2.3.3 去除停用词

一般来说，文本的含义主要依靠这段文本中的名词、形容词、动词来表达，而虚词和文本中经常出现但是并不表示文本含义的词就称为停用词。例如，英文中的a、the、and等，中文中的“的”、“了”、“和”等等。这些停用词对表达文本语义没有贡献，而且出现的频率较高，增加了分类算法的处理复杂度。所以为了提高文本分类效率，降低存储空间，我们需要在文本预处理阶段对停用词进行去除。通常对文本进行去除停用词的操作需要使用到停用词表，即将分词后的词语和停用词表中的词进行匹配，如果在停用词表中匹配到了，那么表示这个词为停用词，则要去除，否则，这个词就是有用特征，进行保留。因为去除停用词的正确率和效率都依赖于停用词表，所以停用词表的完备和准确对最终去除停用词的处理结果有比较大的影响。

## 2.4 文本表示及模型

由于文本数据的无结构性，在对其进行分类处理之前需要先将其转化为计算机分类算法便于处理的形式。文本表示主要包含两个方面的含义，一个是如何表示文本的语义特征，二是如何表示文档的语义特征。

### 2.4.1 文本表示

从语法层次来看，一篇文本的特征主要包含词、短语、句子、段落。如何提取这些特征是文本表示的难点。由于句子和段落的语法层次较高，产生的特征维数呈指数增长，一般不采用基于句子和段落的特征。文本表示通常采用词项，即一个个词语作为文本的特征项，常见的特征项表示方法有词袋模型（Bag of Words）、短语、N-gram等。

词袋模型[34]是指采用文本中出现的词项作为文本特征项对文本进行表示，词袋由训练集中出现的全部单词构成。词袋模型是文本表示模型中最简单的一种。词袋模型采用的特征都是一个个独立的词语，而文本中的特征除了词语，还有句子、段落和他们之间的语义关系、语法结构等，所以词袋模型的特征项所包含的文本信息相对较少，但模型简单，还是被大部分研究人员采用。

基于短语的文本表示方法是指用文本中出现的短语作为文本的特征项，用短语来表示文档。基于短语的文本表示方法弥补了词袋模型无法处理短语的不足。目前，常用的短语确定方法有两种，一种是句法短语，一种是统计短语。句法短语主要考虑的是词与词之间的语法关联性，统计短语主要考虑不同词在文本中共同出现的频次。有研究表明，统计短语方法可以提高文本分类的性能。

N-gram方法是指用文本中连续出现的N个词项作为文本的特征项。N的取值一般不超过5，在中文中，N-gram方法一般由相邻的字组成。N-gram方法的优点是不需要进行复杂的预处理操作，不需要海量的词典和复杂的分词程序，具有很强的鲁棒性。在使用同种分类器和特征数目较小的情况下，N-gram方法的分类效果要优于基于词的分类效果。但是，通过N-gram构造特征时，容易导致特征维数过多，增加算法的时间、空间消耗，影响分类效率。

### 2.4.2 文本表示模型

（1）向量空间模型

20世纪60年代，G.Salton教授等人提出向量空间模型（Vector Space Model，简称VSM）[39]，因为其形式化表示效果好、应用广泛，现在已经成为最简单的文本表示模型之一。VSM模型首先应用于信息检索领域，随着文本分类技术的发展，VSM在文本分类领域的应用也越来越多。VSM模型用向量的形式表示文本信息，是信息检索领域的经典文本表示模型。

VSM模型的基本思想是从能够表明文本内容主题的拥有独立属性的特征项出发，每个属性构成了特征空间的一个维度，所有的特征项的集合构成一篇完整的文本。用特征向量来表示文本，两个文本之间的相似度通过特征向量之间的相关度来计算。在向量空间模型中，文本集合D由特征项和特征项的权重来表示，形式如：，其中表示特征项，表示特征项对应的权重。两个文本之间的相似度通过对应向量空间模型的向量之间的相关度来计算。常用的文本向量相关度的计算方法有向量内积计算方法和向量夹角计算方法。VSM模型将文本相似度转化为向量之间的相关度，降低了计算文本相似度的复杂度；但是，VSM模型没有考虑文本中特征项的位置等信息，损失了文本结构和语义等信息。

（2）布尔模型

布尔模型（Boolean Model）是一种基于集合论和布尔代数的特征项匹配模型。其主要思想是建立文本对应的特征项集合，根据特征项是否出现在文本中对特征权值进行赋值，如果特征项出现在文本中，该特征项的特征权值就赋值为“1”，否则就赋值为“0”。布尔模型可以说是向量空间模型的一种特例。

布尔模型具有结构简单、快速、易于表达的优点，但是布尔模型使用的是二元判断标准，对于特征项只能判断出现或者不出现，无法对特征项的重要性进行排序，应用效果受到一定的限制。

（3） 概率模型

概率模型是一种基于文本概率的文本表示模型[40]。其主要思想是计算所有文档的概率，然后根据文本的概率对文本进行降序排序，这种情况下的检索效率最高。概率模型利用了特征项与特征项间、特征项与文本间的相关性来进行文本模型表示，解决了向量空间模型和布尔模型的不考虑特征项之间的关系的缺点。

在概率模型中，文本D用特征向量表示，用户查询文本Q用特征向量表示，其中，的权重计算都用二值计算方法，即，，“1”表示特征项出现，“0”表示特征项不出现。文本D和用户查询文本Q之间的概率相关性计算公式如（2.2）所示：

 （2.2）

其中，，。F为训练文本集中的文本总数，r为文本集中与用户查询相关的文本数，表示训练集中特征项出现的文本数，表示r个相关文本中包含特征项的文本数。

## 2.5 特征选择技术

特征选择技术是一种特征降维技术。文本分类需要大量的文本数据，当对这些文本进行分词操作以后，特征项的维数是非常巨大的。即使经过去除停用词之后，特征维数也经常会达到上万或者几十万维，这么高维的特征向量一方面会加大分类算法学习的时间，降低分类效率，另一方面，很多与文本内容无关的噪声特征的存在也影响了分类准确度。因此，在进行分类算法训练之前，需要对特征向量进行降维处理。特征降维可以去除噪音数据，提高分类的精度和效率。另外，当特征数量过多时，分类器学习过度，会影响分类器在新的数据集上的分类效果，特征降维还可以避免这种过拟合现象。目前，最常用的特征降维技术是特征选择技术。

特征选择方法是指把很多的特征根据某种规则进行排序，选择最能代表文本内容的特征，构成原始特征集合的子集，降低文本向量空间维数，提高分类效率和精度。本文将在第三章对特征选择技术进行深入研究。

## 2.6 常用分类器方法

前面几节介绍的都是文本分类之前的预处理操作，预处理的目的是形成一个较好的特征空间。然后将预处理后的训练集输入到分类器中进行训练，最后使用测试集进行准确度和效率分析。文本分类技术是文本分类研究中的重点。根据分类规则和类别判断方法的不同，文本分类可以分为两类。

一类是基于规则的分类方法[41]。其基本思想是根据对应领域的专家的判断来推倒分类。这种分类方法的基础和前提是需要专家知识，需要专家提前进行大量的规则的定制和修改，才能进行有效的分类操作。基于规则的分类方法有着分类准确率高、分类体系合理等优点。但是，其分类效果和推理规则之间耦合太大，不利于扩展和移植，所以在实际的分类系统中较少采用这种方法。

另一类是基于统计的分类方法[42]。其基本思想是不考虑文本的语义结构信息，假设表示文本的特征词互不相关，通过对训练样本的计算和统计，得到代表文本和类别的关键特征词条。分类器使用选择的特征词条形式化待分类的文本，然后根据训练阶段得到的文本与类别的关系来判断待分类文本的类别。基于统计的分类方法实现简单，通过对训练语料库的分析得到分类知识，分类可信度较高，分类准确度也相对较高。但是，由于这种方法实质上是非确定性的定量推理过程，所以存在对小类别文本忽视的缺点。

文本分类常见的分类器主要有如下几种：

### 2.6.1 朴素贝叶斯分类器

贝叶斯算法是一种以贝叶斯理论为基础的统计学分类方法，是文本分类算法中应用机器学习方法最广泛的算法之一。这里给出贝叶斯定理的公式：

假设、、…、为样本空间的划分元素的集合，且。对任意的随机事件，若，则

 （2.3）

若是把随机事件B看成是结果，那么就是导致结果B产生的种种原因，所以Bayes公式的等号的左边条件概率表示能够产生结果B的原因发生的可能性。Bayes公式等号右边的表示原因独立发生的概率，因为在随机事件抽取之间就可以从已有的数据中得到，所以被称为先验概率。是在历史实验中得到的，表示在事件已经发生的情况下，发生结果B的概率。将Bayes公式应用于文本分类中，即先从训练数据集中收集有用信息，通过训练从而学习到B和的每一种组合的后验概率，得出这些概率以后，按照后验概率的最大值对文本进行分类。

朴素贝叶斯算法（Naïve Bayes），以下简称NB，是贝叶斯算法中最简单有效和应用最广泛的一种。NB算法的特点是有一个独立的假设前提，即在已经给定了目标值的情况下，各个属性变量之间条件相互独立。NB分类器用概率计算，假设待分类文本属于给定的文本集C里面的某一类，经过NB分类器可得到:

 （2.4）

 （2.5）

然后计算给定的文本集C在输入情况下的概率，得到的最大概率值则表示此类别就是的类别，公式如下：

 if  （2.6）

NB分类算法本质上就是利用先验概率来计算后验概率，即在给出测试文本集以及分类准备的情况下，通过计算和来训练处分类模型。该算法结构简单，在某些场合性能也比较好，但是该算法处理的问题必须符合属性变量之间条件相互独立的假设，而这样的假设在一些实际情况下是不成立的。

### 2.6.2 K--最近邻算法

K—最近邻算法（KNN）是数据挖掘知识范畴内的一种统计算法，它属于消极学习方法，所谓的K—最近邻指的是k个最近邻居，其实就是用某个样本周围距离最近的k个邻居来代表该样本。其原理是对待分类文本不进行训练建模，反而去寻找该测试数据周围距其最近的k个邻居，对这k个邻居的属性值做一个平均计算，并把它当作该测试数据的属性，就此计算出测试文本的类别[43]。

KNN算法的核心就是找到k个近邻的样本节点，而该算法通常是根据以下两个公式来计算待分类的样本与其周围的邻居的距离：

（1）欧式距离，a和b是两个标准化文本向量，计算二者的欧式距离公式为：

 （2.7）

（2）余弦距离，计算标准化文本向量a与b的余弦公式为：

 （2.8）

KNN算法容易理解且实现较为简单，不需要训练建模，有利于应用到数量和规模较小的事件。但是，当文本数据集是不均衡数据集时，该算法缺点也比较明显，输入的测试文本的周围k个邻居可能都是文本量比较大的那个类别，从而产生错误的判断。另外，KNN算法需要对全部待分类的数据集都进行距离的计算，当面对大规模的数据时，计算量太过巨大，耗时太长。

### 2.6.3 类中心向量方法

类中心向量方法[44]是一种基于向量空间模型的简单分类方法。其主要思想是在训练阶段，通过训练集得到每个类对应的中心向量；在分类阶段，把待分类文本也用向量表示，计算待分类文本向量和每个类的中心向量的相似度，把待分类文本划分到相似度最大的类别中去。如果待分类文本可以属于多个类别，那么可以将相似度进行降序排序，设定一个相似度阈值，把待分类文本划分到相似度大于这个阈值的类别中去。目前，常见的类中心向量方法有：Rocchio方法、Windrow-Hoff方法、EG方法等。

类中心向量方法主要的优点是分类方法简单，分类速度较快。

### 2.6.4 决策树算法

决策树（Decision Tree）是一种有监督学习方法，所谓的有监督学习指的是所有的训练文本集都拥有自己的属性并从属某个类别，然后利用这些训练文本集进行训练得到分类器。二叉树是最典型的一种Decision Tree，二叉树中所有的叶子节点都有且只有一个父节点，每个节点最多可以有两个子节点，每个叶子节点对应着一个类别,每个内部节点都对应一个分割属性，该属性使用分割判断规则来对数据集进行分割，假如是个连续属性，那么的形式是，其中，即是该内部节点n的分割点；假如是一个离散属性，那么的形式是，其中称为该内部节点的分割子集，且，分割标准由内部节点n的分割判断规则和分割属性决定。Decision Tree分类算法一般分成两个阶段，决策树的构建（Building）和决策树修剪（Pruning）。

在构建决策树的过程中，关键在于选择分割方法，不同的分割方法将决策树算法分成两类。第一类是最小Gini指标算法，这种算法常见的应用有CART算法，SLIQ和SPRING；第二类是基于信息论的算法，常见的应用有ID3算法和C4.5算法。常用的Top Down Decision Tree构建算法以节点n、数据集D以及分割方法CL为输入条件，首先对树的节点进行初始化，然后在数据集D中使用分割方法CL来求解节点n的分割标准。如果节点n满足分割条件，则创建节点n的子节点和，选择最好的效果将数据集D分为两个子集和。这样就创建完成，输出以节点n为根节点，节点和为子节点，基于数据集D和分割方法CL的决策树。

目前常用的剪枝方法有三种：悲观剪枝（Pessimistic Pruning）、基于代价复杂度的修剪（Cost-complexity Pruning）和最小描述长度修剪（Minimum Description Length）。1987年，Quinlan提出悲观剪枝，这种方法使用所有的训练集来修剪决策树，但是该方法修剪的决策树过于巨大，且精确度较低。基于代价复杂度的修剪方法使用不同于构建决策树时使用的独立样本集来剪枝，但是在训练集规模比较小的情况下，出于效率的考虑，也可以用来进行决策树的修剪。最小描述长度修剪的基本思路是利用最小长度原理，通过对构建决策树的规则集的精确度进行提升，减小规则集合的消息长度，从而能解决过度拟合的问题。

### 2.6.5 神经网络方法

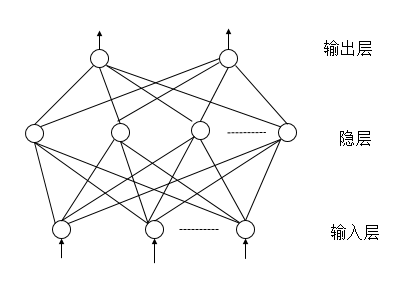
神经网络（Artificial Neural Networks, NN）[45]分类方法通过模拟人脑神经网络的基本组织特性来完成文本的分类操作。神经网络模型大多为BP网络（Back Propagation Network, BP），即反向传播学习算法。它通常是由三层相同的一系列的神经元构成的层状网络，底层为输入层，中间为隐含层，顶层为输出层，如图2.2所示。

图2.2 神经网络结构图

神经网络分类算法的思路是：在训练阶段，利用训练样本集对神经网络分类系统的每一个输入、输出的连接权重进行调整，直到得到分类效果最佳的神经网络分类器。在分类阶段，分类器针对不同的待分类文本，选择合适的输入层和输出层，从而完成文本分类的判定工作。

目前，常见的神经网络模型有：多层感知机、自适应映射网络等。神经网络分类算法的优点是应用方便、自适应强、获得结果较快较好。但是，神经网络分类方法采用“黑盒”策略，利用了大量的可调参数，分类结果不易解释和理解；另外，分类结果很大程度依赖训练文本集，分类过程很慢，不适合大规模的训练文本语料库的训练学习。

### 2.6.6 支持向量机（SVM）

支持向量机（Support Vector Machine，SVM）是基于统计学习理论的分类器，是分类效果最好的分类器之一，广泛地应用于分类领域。1995年，Vapnik最早提出支持向量机的概念，后来Joachims最早将支持向量机理论方法应用在文本分类领域。

在文本分类中，SVM方法的目的是找到一个可以把训练集中的文本分成两类的超平面，且满足类别边界沿垂直于该超平面方向的距离最大，保证最小的分类错误率。本文第四章将对SVM方法进行深入研究。

## 2.7 分类性能评价指标

分类评价指标是指在实验中用来评价分类器分类准确度和其他性能的分类指标。在文本分类领域，已经有很多提出的衡量分类器性能的指标，这些指标从不同方面衡量分类器的性能。目前，国际上通用的评价指标有查准率（Recall）、查全率（Precision）、宏平均、微平均等[46][47]。

### 2.7.1查准率和查全率

查准率又称准确率，查全率又称召回率，查准率和查全率在检索系统的评价和分类器性能的评价中有广泛的使用。对于文本分类中文本所属类别的情况，使用表2-1计算查准率和查全率：

表2-1

真正属于该类别的文本数 不属于该类别的文本数

判断属于该类别文本数 True Positive（TP） False Positive（FP）

判断不属于该类别文本数 False Negative（FN） True Negative（TN）

在表2-1中，TP表示该类别文本被判定为属于该类别的文本数；FN表示该类别文本被判定为不属于该类别的文本数；FP表示不属于该类别的文本被判定为属于该类别的文本数；TN表示不属于该类别的文本被判定为不属于该类别的文本数。

查准率指的是分类器划分给某个类别的文本数量占其真正属于的该类别的本文数的比例，计算公式如（2.9）：

 （2.9）

查全率指的是真正属于某个类别的文本数量占分类器划分给该类别的文本数量的比例，计算公式如（2.10）：

 （2.10）

查准率和查全率分别反映了分类器的两个方面的性能，具体采用哪一个评价标准，要根据用户的侧重点来决定。一般来说，这两个指标是互补的，性能较好的分类器应该具备较好的查准率和查全率。

### 2.7.2 值

因为查准率反映的是分类器的准确性，查全率反映的是分类器的完备性，一般情况下，两者相互矛盾，查全率会随着查准率的升高而下降。而F值就是为了综合考虑查准率和查全率而提出的。

值由Van Rijsbergen于1979年提出，值将查准率和查全率综合为一个指标，意图综合考虑分类器的分类性能，两者的相对重要性用表示，的计算公式如（2.11）：

 （2.11）

其中，为调节参数，用于调整查准率和查全率在值中的比重。在实际应用中，的取值可以为1，常用的公式如（2.12）所示：

 （2.12）

### 2.7.3 宏平均和微平均

查准率和查全率是从类别的角度来评价分类器的分类性能，所以查准率和查全率只代表局部意义。为了评价分类器在整个数据集上的性能，通常对类别评价进行平均，常见的两种平均的方法是宏平均和微平均。

宏平均是每个类别性能指标的算术平均值，强调每个类别对整体结果的影响。宏平均的计算公式如（2.13）和（2.14）：

 （2.13）

 （2.14）

其中，式中的分母表示文本集C的类别总数。

微平均是每个文本的性能指标的算术平均值，强调大类别对整体结果的影响。微平均的计算公式如（2.15）和（2.16）：

 （2.15）

 （2.16）

### 2.7.4 BEP（Break-even point）

由于评价指标查准率和查全率之间是一堆矛盾体，当查准率提升时，查全率就会相对的下降；当查准率下降时，查全率也会相应的提高。为了平衡这两个指标，将查准率和查全率调整到一个相等的值，这个值就是分类器的收支平衡点（Break-even point, BEP）。通常采用查准率和查全率的算术平均值来代替BEP的值，计算公式如（2.17）：

 （2.17）

BEP的宏平均和微平均计算公式如（2.18）和（2.19）：

 （2.18）

 （2.19）

## 本章小结

本章主要介绍了文本分类的概念，介绍了文本分类的流程，接着对文本分类的流程中的各个部分进行了介绍。包括预处理技术、文本表示及其模型、特征选择技术。之后介绍了文本分类中常见的分类算法，包括朴素贝叶斯算法、KNN算法、决策树算法、神经网络算法和支持向量机算法等。最后介绍了分类评估的指标，查准率、查全率、F值和宏平均微平均。

# 第三章 特征选择方法

## 3.1 特征选择方法概述

在文本分类中，需要大量的文本数据来对分类器进行训练，当用向量空间模型对这些分词后的文本进行表示的时候，特征项会非常多，特征维数非常高，后面分类的复杂度很高，分类效率受到影响。实际上，高维特征空间中并不是每一维都对分类有贡献，有很多的模棱两可的特征项不仅对分类没有贡献，相反会增加分类器的学习负担，降低分类效果。例如，“作用”、“过程”、“结果”等等，这种词人工也无法判断是属于什么类别的文本，对分类器来说属于噪声，这种噪声会给分类器算法带来巨大的时间和空间上的计算消耗，也会影响分类器的准确度。相反，像“篮球”、“裁判”、“NBA”等等词语，这类词语很容易看出是属于体育类的文本，这类词语就对分类非常有用。为了降低分类算法计算复杂度，非常有必要对特征空间进行降维处理，目前最常用的特征空间降维技术就是特征选择技术。

特征选择的一般过程是：给定训练文本集合，假设文本分词后得到的所有词语的集合为，用表示集合，特征选择就是从到的一个一对一映射，也就是，接下来以分类器的计算复杂度为出发点，选择一个，选择集合中那些函数值大于或者等于的词语为“选择的特征项”，记为特征集。

目前，常用的特征选择方法有：文档频率（DF）、信息增益（IG）、互信息（MI）、卡方统计量（CHI）等，本章下面将对这些特征选择方法进行深入研究。

## 3.2 常见特征选择方法

### 3.2.1 文档频率（DF）

文档频率（Document Frequency，DF）指的是一个特征词条在训练语料库中出现的文档数[48]。文档频率特征选择方法需要先设定一个最小和最大文档频率阈值，对每个特征项的文档频率进行统计，如果特征项的文档频率小于最小文档频率阈值或者大于最大文档频率阈值，那么删除这个特征项，否则保留。文档频率特征选择方法的思想需要有一个假设前提，即如果特征项的文档频率很小，属于低频词，那么就该特征项就没有代表性；如果特征项的文档频率很大，属于高频词，那么该特征就没有区分度。将这些特征项删除对分类效果没有太大影响。

文档频率用DF表示，计算公式如（3.1）所示：

 （3.1）

文档频率选择方法是最简单的特征选择方法之一，因为其和训练语料库的线性复杂度关系，该方法可以应用于大规模训练语料库的统计。但是文档频率特征选择方法的缺点也比较明显，首先该方法认为文档频率过小的特征项不含有或含有很少的类别信息，所以删除这些特征项对分类结果并不会有什么影响。实际上，存在文档频率很低但是却能很好反映文本类别信息的特征项。另外，文档频率特征选择方法只计算特征项是否在文档中出现，而没有考虑特征项在文档中出现的次数，也没有考虑特征项的含义，这是文档频率特征选择方法的主要不足之处。

### 3.2.2 信息增益（IG）

信息增益（Information Gain，IG）概念出自信息论，使用了信息论中熵的概念，通过特征项在文本中出现前后的不同信息熵的差来对特征进行度量[49]。在文本分类领域，信息增益用来度量一个特征的出现与否对分类器判断包含该特征的文本应所属的类别而提供的信息量有多少。

IG特征选择方法的主要过程是：计算每个特征的信息增益，然后按照信息增益的值对特征项进行排序，通过预先设定的特征项的个数或者删除信息增益值小于预定义的信息增益阈值来实现特性选择。对于特征t以及文本所属类别c，IG方法通过对特征t出现在类别c的文本数和特征t不出现在类别c的文本数进行统计，以此来计算特征t对于类别c的信息增益值，计算公式如（3.2）所示：

 （3.2）

其中，表示类文档在训练语料库中出现的概率，表示训练语料库中包含特征t的文本的概率，表示文本包含特征t时且属于类别的条件概率，表示训练语料库中不包含特征t的文本的概率，表示文本不包含特征t时且属于类别的概率，m表示类别数。

根据公式（3.2）可以计算出每个特征的信息增益值，并可以按信息增益值对其进行排序，然后可以根据阈值来删除某些特征。总体来说，信息增益方法对文本分类中的特征降维还是有很好的效果，现在已经被广泛地应用于机器学习领域。但是，信息增益方法也存在一些不足，首先信息增益方法需要计算复杂的熵理论公式，计算复杂度高；其次，信息增益方法在计算时考虑了特征不出现的情况，这样会给分类器带来一定的干扰，因为虽然特征的不出现对文本的归属类别判定有一定的贡献，但是特征不出现所带来的负面影响无法被忽略。特别是特征在不同类别的文本中分布不均衡时，那么信息增益方法的效果会大大降低。

### 3.2.3 互信息（MI）

互信息（Mutual Information，MI）的概念也是出自信息论中，用来衡量两个信号之间的关联程度。在文本分类中，互信息用来度量特征词条与类别之间的关联程度[50]。特征词条与类别的互信息计算公式如（3.3）所示：

 （3.3）

其中，表示一篇文本包含特征词条且属于类别的概率，表示包含特征词条的文本数占所有文本数的概率，表示属于类别的文本数占所有文本数的概率。当特征词条与类别没有关联关系时，那么，根据公式（3.3）可知，这种情况下的互信息值为0。当特征词条与类别之间的关联关系很强时，的值远远大于0，当特征词条与类别之间的关联关系很弱时，的值远远小于0。

在实际应用中，一般采用对训练语料库中各类文本出现次数进行统计来模拟互信息的计算。计算公式如（3.4）所示：

 （3.4）

其中，表示包含特征词条且属于类别的文本频数，表示不包含特征词条但是属于类别的文本频数，表示包含特征词条但是不属于类别的文本频数，表示文本语料库中的文本总数。

相比于信息增益方法，互信息方法更加容易理解和实现，思想更加直观。但互信息的缺点在于没有考虑特征词条出现的频度，容易在选择时选择一些低频特征，受特征词条的边缘分布的影响较大。当两个特征的相同时，的大小决定互信息的大小，越大那么互信息值越大，会给分类算法带来负面影响。

### 3.2.4 卡方统计量（CHI）

卡方统计量（Chi-square Statistic，CHI）方法是假设检验的方法，假设特征词条与类别满足一阶自由度的卡方（）分布[51]，然后通过计算特征词条和类别之间的相关程度来进行特征选择。其中，特征词条与类别的相关度与分布的值成正比，统计值越高，说明特征词条含有越多的类别信息，那么该特征词条被选择的几率也就越大。统计量的计算公式如（3.5）所示：

 （3.5）

其中，表示包含特征词条且属于类别的文本数，表示包含特征词条但是不属于类别的文本数，表示不包含特征词条但是属于类别的文本数，表示不包含特征词条且不属于类别的文本数，表示总的文本数，且。

公式（3.5）计算的是单个特征相对于单个类别的统计值，而对于多类分类问题，则有两种常用的方式计算统计值，分别是加权平均和求和。加权平均指的是计算特征词条相对于每个类的统计值，然后取这些值的平均值作为该特征词条的最终统计值。计算公式如（3.6）所示，

 （3.6）

求和指的是计算特征词条相对于每个类的统计值，然后取所有统计值中的最大值作为最终的统计值。计算公式如（3.7）所示，

 （3.7）

## 3.3 改进的混合特征选择方法

### 3.3.1 CHI方法的不足

传统CHI统计方法的主要缺点是夸大了低频词的作用。例如，现在一共有100篇文档，特征词在所有的100篇文档中均出现了一次，特征词在其中的80篇文档中均出现了100次，那么根据CHI的计算公式（3.5），计算得到。根据计算结果，CHI方法会倾向于选择特征词，但实际上特征词比特征词具有更多的分类信息，应该选择特征词作为特征词。 从上面的例子可以看出，CHI方法只是统计特征词是否在文本中出现，忽略了特征词在文本中出现的次数。也就是说，它只考虑了特征词的文档频，而没有考虑到特征词的词频。假如某个特征词在某一个类别中的少量文本中出现的次数非常多，但是在剩下的大量文本中没有出现，那么通过公式（3.5）计算出的CHI值会很小，不会被选做重要的特征词，但是这种特征词往往含有很多的分类信息，对分类的贡献很大。这是CHI方法的不足，会导致选择的特征不够准确，影响最终分类效果。

### 3.2.2 词频因子的引入

CHI统计方法只考虑了特征词是否在各个文本中出现，忽略了特征词在各个文本中的词频，从而提高了低频词的权重。本文针对CHI方法的这一缺点引入词频因子进行调节，的计算公式如式（3.8）所示：

 （3.8）

其中，N表示所有的类别总数；表示在类别的文档中，特征词t出现的次数；表示特征词t在所有类别的的全部文档中出现的次数。

词频因子表示特征词t在某个特定类别文档中出现的频数占所有类别文档中的总的出现频数的比例。越大，表示该特征在某个特定类别中出现次数较多，而在其他类别中出现次数较少，这样的特征对类别判定能够提供更多的信息。反之，越小，该特征具有越小的类别区分能力，这样的特征词就应该被排除。

### 3.3.3 MI方法的不足

传统的MI方法相比同样是以信息论为基础的IG方法，更加的直观且易于理解，计算复杂度也较低。MI方法的一个显著优点是考虑类内不同特征出现的频率，度量的是含有特征t的文本数与类别内总的文本数之间的比率，体现了不同类别内特征对类别的表现能力，有效地利用了文本的类别信息。但是MI方法也存在一些不足的地方，一个主要的缺陷是没有考虑特征本身出现的频度，这会造成MI方法在评估特征时会倾向于选择一些低频特征。从式（3.3）我们可以看出，当两个特征的相同时， 的大小决定互信息的大小，小则互信息大，但实际这样的特征含有的分类信息比较少，从而导致分类效果不理想。

这里举个具体的例子进行说明。假设某个文本集中类别集合为，假设存在特征且，，那么可知，，根据互信息的定义，特征与类别和的互信息分别为：







其中，等式表明每个包含特征的文本都属于类别，而那些不包含特征的文本基本上都属于类别。

### 3.3.4 调节因子的提出

本文针对上节指出的MI的不足，提出在原有的公式计算上引入调节参数，改进后的公式如式（3.9）所示：

 （3.9）

其中，通过引入调节参数，添加词频信息，适当增加中高频特征所占比重，降低低频特征的互信息值，避免互信息方法选择过多的低频特征，从而降低低频词对互信息方法的负效用。

不同类别之间，特征的词频也代表了不同的类别区分能力。一个区分能力强的特征词，应该集中分布在某些特定的类别中，也就是不同类别中的特征词频的方差应该尽可能的大，这样的特征含有更多的类别区分信息。为此，本文引入不同类别间特征的词频的方差对MI方法进行优化，记代表特征t在类别j中的频数，则方差可表示为（3.10）：

 （3.10）

其中，m表示总类别的数量。

那么公式（3.9）可以改进为公式（3.11）：

 （3.11）

### 3.3.5 改进的混合特征选择方法

本节前面四小节分别对CHI和MI方法各自的不足进行了分析并对各自的不足提出了对应的改进方案。针对CHI特征选择方法只考虑到特征词的文本频而没有考虑词频的不足，引入词频调节因子，降低低频词的权重。针对MI特征选择方法的低频词敏感的缺点，引入调节参数减小MI方法对低频词的选择权重。此外，引入类别间特征词频的方差对MI方法进一步优化，使MI方法选择那些集中分布在某些类别的特征，这些特征往往含有更多的类别信息。本小节根据调整过的CHI方法和MI方法，整合两种改进后的方法，集合CHI方法和MI方法的优点，得到一种混合的特征选择方法（CHMI）。该方法基于CHI和MI方法，不会给予低频词很高的权重，又会选择那些集中出现在某些类别且在类别文本中分布均匀，出现次数较多的特征。该方法的计算公式如式（3.12）所示：

 （3.12）

## 3.4 本章小结

本章首先对特征选择技术进行了简要的概述，接着介绍了几种常用的特征选择方法，包括文档频率、信息增益、互信息和卡方统计量。然后分析了CHI特征选择方法对于低频词敏感的缺点，引入词频调节因子来解决。针对MI特征选择方法的缺点，提出调节参数和来进行改进，最终集合两种方法的优点，提出新的混合特征选择方法。

# 第四章 基于SVM的二分类器研究

## 4.1 SVM理论基础

支持向量机（Support Vector Machine，SVM）是一种二类分类模型且基于统计学习理论来实现分类。统计学习理论是基于小样本事件上的一种机器学习领域知识，利用结构风险最小化原则来解决机器学习的难题，是利用VC维理论去操作机器学习的泛化能力[52]。在介绍支持向量机之前，先需要介绍VC维理论和结构风险最小化原则这两个概念，为介绍SVM做铺垫。

### 4.1.1 VC维理论

VC维理论是由Vapnik和Cheronenkis提出来的，在统计学习理论领域，VC维的基本概念是对于一个指示函数集，如果存在h个数据样本能够被函数集中的函数按所有可能的种形式分开，则称函数集能够把h个样本打散（Shatter）[53]。函数集的VC维就是能打散的最大数据样本数目h。若对任意数目的数据样本都有函数能将他们打散，则函数集的VC维为无穷大。VC维被用来衡量一个机器学习的复杂度，并且与机器学习复杂度成正比。一般来说，在一个n维空间里，最多可以有n个空间点是线性独立的，此时，这个n维超平面的VC维就是n+1[54]。

对于测试函数集中的全部函数，测试风险和经验风险之间最少有，的概率满足：

 （4.1）

在不等式（4.1）中，样本的个数为，就是测试函数的VC维。从公式中可以很容易的看出，测试风险由不等式右边的两个部分决定，其一是经验风险，其二是置信风险[55]，可用下面的公式（4.2）表示：

 （4.2）

根据公式（4.2），所以公式（4.1）可以简化为公式（4.3）：

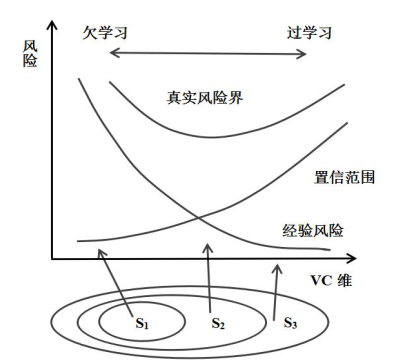
 （4.3）

由公式（4.3）可以看出，当置信风险比较大时，经验风险和测试风险之间的差距就会被拉大，这样就会导致机器学习的“过拟合”情况[56]。所以需要控制置信风险在一个较小的范围内，那么就需要缩小VC维，同时还要控制经验风险为最小的值，这样才能降低测试风险，从而让机器学习模型具有良好的泛化能力。

### 4.1.2 结构风险最小化原则

传统的机器学习方法中普遍从降低置信风险的角度研究，在这种情况下，如果VC维与样本个数的比值取的合适，是可以获得效果比较好的机器学习算法模型。但是在模式识别的知识领域里，要选择一个VC维，就相当于选择一个分类器的模式。从公式（4.3）我们也可以看出，当选定了后并保持不变，再利用经验最小化风险来获得最小测试风险[57]。但是，传统的机器学习方法中并没有涉及到如何选定的方法与思想，所以那些方法比较依赖经验风险。

在同时考虑最小化经验风险和置信风险的范围的情况下，结构风险最小化原则被提出，其实质是基于归纳推理原理的，本质思想是将一个函数集分解成为一个原来函数的子集序列：，并且各个子集的排列顺序是按照VC维由小到大排列成，那么在一个函数的子集里面拥有同样的置信风险，所以只要在每一个子集中去选择最小经验风险即可[58]，结构风险最小化的原理图如图4.1所示：

图4.1 结构风险最小化

结构风险最小化原则主要有两种实现方式，一种是在每个子集中求最小经验风险，然后选择使最小经验风险和置信风险范围之和最小的子集。这种实现方式在子集数量较多的情况下非常耗时。另一种是设计函数集的某种结构，使每个子集中都能取得最小的经验风险，然后只需选择适当的子集使置信风险范围最小，则这个子集中使经验风险最小的函数就是最优函数，支持向量机就是采用的这种实现方式。

## 4.2 SVM类别

### 4.2.1 线性支持向量机

对于二类分类问题，如果这个问题是线性可分的，那么可以找到一个超平面将两个不同的类别区分开来。可以把两个类别区分开的超平面不止一个，有很多个，而支持向量机就是找到最优的那一个[59]。具体如图4.2所示：



图4.2 SVM原理图

图4.2中采用实心圆点和空心圆点来表示不同的两个类别。 是可以将两个类别区分开的分类面，和与平行，且经过距距离最短的不同分类样本点。超平面和超平面之间存在若干个可以将两个类别无误差地分开的超平面。和之间的距离称之为几何间隔，在超平面和上的样本点称为支持向量。我们将可以把两个类别区分开且使几何间隔最大的超平面称为最优分类超平面。

假设线性可分样本集为为类别的标识。设**d**维空间中线性判别函数为，分类面的方程为，决策函数为：

 （4.4）

其中，为符号函数。

当时，样本与分类面的距离最近，分类间隔则为。为了使分类间隔最大，可通过求最小。从而通过求解公式（4.5）得到最优分类超平面：

 （4.5）

其中，满足的样本点就是支持向量。为二次型的优化函数，有着线性的约束条件，可用拉格朗日乘子法来求解这个问题。通过这样的方式，SVM的求解就变成了求解二次规划问题。

构造拉格朗日函数如公式（4.6）所示：

 （4.6）

其中，表示拉格朗日因子，接着对公式（4.6）中的和分别求偏微分并令它们等于0，得到和，那么公式（4.5）可以转化为对应的对偶问题，如公式（4.7）所示：

 （4.7）

求解公式（4.7）可以得到每个样本对应的值，从而得到最优化问题的最优解。最终的分类判别函数如公式（4.8）所示：

 （4.8）

其中，为偏斜量，当不为0时，和表示的是两类样本中任意一对支持向量。

在现实中，很多分类问题并不是绝对线性可分的，比如下图中的情况，就无法得到正确的分类超平面。

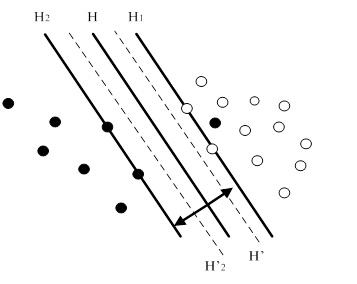


图4.3 奇异点

图4.3中最右边的黑色实心圆点就是一个奇异的样本点，即不满足公式（4.5）中的条件。因为样本中存在奇异点，所以样本集的分类线性不可分。如果忽略掉这些奇异点，那么可以得到一个近似的分类结果，称为“近似线性可分”问题。即可以允许少部分样本点与分类超平面之间的间隔不大于1。可以通过添加非负参数，允许某些样本点落到几何间隔内，实现近似线性可分。则所有的样本点都满足公式（4.9）：

 （4.9）

其中，如果的值太大，会对支持向量机的推广能力造成比较大的影响，可以通过对目标函数增加一个惩罚因子C来解决。惩罚因子C是一个常数，表示对分类过程中出现的错分情况的忍耐程度，减少了算法的复杂度。 那么最优化问题可以表示为式（4.10）：

 （4.10）

公式（4.10）也是一个二次函数的求极值问题，求解过程与公式（4.8）大同小异。区别是在构造拉格朗日函数的条件中需要添加惩罚因子，满足公式（4.11）：

 （4.11）

### 4.2.2 非线性支持向量机

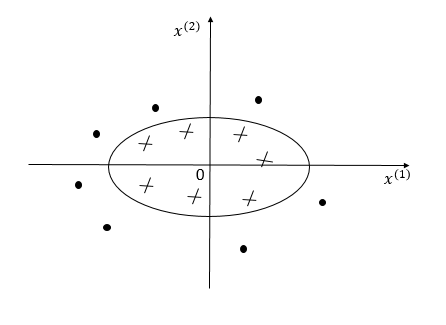
对于线性可分分类问题，线性分类支持向量机是一种有效的方法。但是，有些分类问题是非线性的，这时可以使用非线性支持向量机。非线性分类问题指的是通过利用非线性模型才能很好地进行分类的问题[60]。如图4.4所示：

图4.4 非线性分类问题

图4.3中，黑色实心圆点和黑色叉号分别代表两种类别。由图可见，无法使用直线（线性模型）将两种类别正确区分开来，但是可以使用一条椭圆曲线（非线性模型）将它们正确分开。

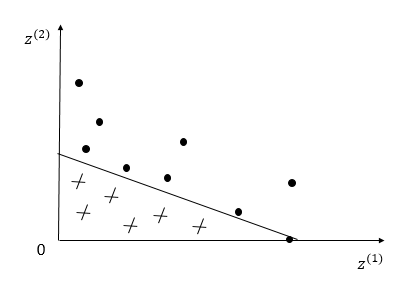
对于非线性问题，一般采用的解决办法是进行一个非线性变换，将非线性问题变换为线性问题，通过求解变换后的线性问题的方法求解原来的非线性问题[61]。对于图4.4中的非线性问题，通过变换，将图中的椭圆变成直线，变换后的问题如图4.5所示：

图4.5 变换后的非线性问题

设原空间为，新空间为，定义从原空间到新空间的映射为：

 （4.12）

经过变换，原空间变换为新空间，原空间中的点相应地变换为新空间中的点，原空间中的椭圆：

 （4.13）

变换成新空间中的直线：

 （4.14）

在变换后的新空间里，直线可以将变换后的两个类别正确地分开。这样，原空间中的非线性问题就变成了新空间中的线性可分问题。

## 4.3 SVM核函数

核函数（Kernel Function）是SVM算法中最关键的部分，核函数的不同决定了支持向量机之间的不同。核函数的基本想法就是通过一个非线性变换将输入空间对应于一个特征空间，使得在输入空间中的超曲面模型对应于特征空间中的超平面模型。

核函数的概念为：设是输入空间（欧式空间的子集或离散集合），又设为特征空间（希尔伯特空间），如果存在一个从到的映射：

 （4.15）

使得对所有，函数满足条件：

 （4.16）

则称为核函数，为映射函数，公式（4.16）中的为和的内积。

目前常用的核函数有：

1. Sigmod核函数：

 （4.17）

其中，是一个标量，是位移量。

1. 多项式核函数：

 （4.18）

其中，q是自定义整数，所得分类器就是一个q阶多项式分类器。

1. 径向基（RBF）核函数[62]：

 （4.19）

其中，是高斯函数的宽度。

## 4.4 SVM多分类方法的改进

### 4.4.1 多类分类问题原理

支持向量机的多分类问题一般有两种解决办法，一种是构造多分类的支持向量机，另一种是使用很多的二分类器的支持向量机分类器来实现。后一种就是采用分解策略实现的。使用分解策略来处理多分类问题已经被广泛的研究。分解策略的基本思想是将多分类问题使用多个二分类问题来解决。但是，这种以简化基本分类器的分解产生了一个额外的因素，即所有的二分类器的输出结果必须结合起来得到最终的类别。最为常见的分解策略有：“一对多”和“一对一”[63]。

（1）“一对多”分解方式

一对多方法（OVA）是最早使用并且使用最广泛的多类策略。主要思想是将多个类别转化成两类来实现。在训练时，对于k个类别的样本数据，需要训练k个SVM二类分类器[64]。

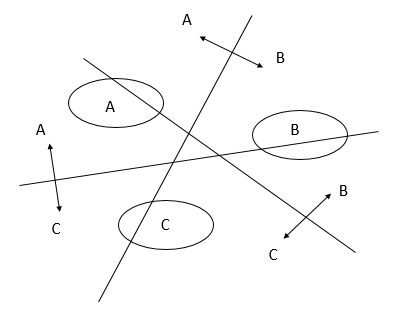
在构造第i个SVM子分类的样本数据标记为正类，其他不属于i类别的样本数据标记为负类。测试时，对测试数据分别计算各判别函数值，如果只有一个分类器输出为正值，那么可直接判决结果为相应分类器编号，否则选取判别函数值最大所对应的类别为测试数据的类别。如图4.6所示。“一对多”方法的优点是需要的二分类器数目不多，训练k个分类器，分类速度相对较快。其最大的缺点是每个分类器的训练都是将全部的样本作为训练样本，这样在求解二次规划问题时，训练速度会随着训练样本的数量的增加而急剧减慢；同时由于负类样本的数据要远远大于正类样本的数据，从而出现了样本不对称的情况，且这种情况随着训练数据的增加而趋向严重。

图4.6 一对多方法

（2）“一对一”分解方式

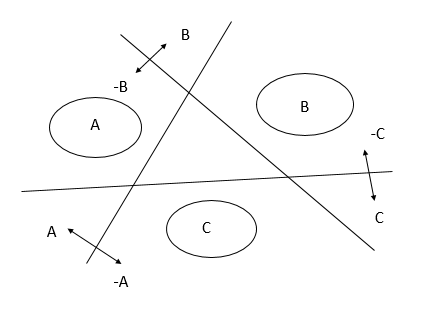
一对一方法（OVO）又称为成对组合法（Pairwise Coupling），其主要思想是选取样本集中两个不同类别的样本作为正类和负类，通过这些正类和负类样本来构建二分类器实现多类分类。如图4.7所示。假设训练集中的类别数量为k，那么一对一方法需要的二分类器数量为k(k-1)/2。在对某个样本进行分类判别时，所有的二分类器都对这个样本进行判断，得到k(k-1)/2个分类输出结果。根据这些输出结果进行最终结果的判定。一对一分解方式的优点是解决了不可分问题，每个样本都会得到一个分类判定结果。其主要的缺点是随着训练样本集类别的增加，二分类器的数量增长非常快，当类别k比较大时，分类的时间很长，分类效率降低。

图4.7 一对一方法

### 4.4.2 一对一方法的组合策略

由于使用一对一方法对样本进行类别判别时，每个二分类器都会有一个输出，利用这些输出我们可以决定最终的样本归属。为了充分地利用这些输出结果，我们一般将这些输出构建成一个矩阵R，如公式（4.20）所示：

 （4.20）

其中，表示分类器区分类别i和j时偏向类别i的概率情况；如果要计算偏向于类别j的情况，可以通过计算得到。当矩阵R构建成功，那么就有很多策略来利用矩阵R得到最终的判决结果。常用的方法有：权重投票策略、成对耦合分类策略、成对耦合估计策略。

1. 权重投票策略

这种方法使用每个类别的每个分类器的结果进行投票，最终最大的结果作为最后的判决类别，计算公式如（4.21）：

 （4.21）

1. 成对耦合分类策略

这种方法的目的是从成对的类别概率中估计所有类别的后验概率。因此，设定，根据成对类别的分类器的输出，该方法需要从所有的后验概率中找出类别后验概率的最佳逼近。最终，拥有最大后验概率的类别就是判定的类别，如公式（4.22）：

 （4.22）

其中，后验概率可以通过最小化和之间的KL距离来求得。计算公式见（4.23）：

 （4.23）

其中，表示训练集中第i类和第j类的训练文本的数量，，。

1. 成对耦合估计策略

这种方法与成对耦合分类的方法类似，也是从成对的概率中估计每个类别的后验概率。但是，在这种方法中，优化公式和成对耦合分类方法是不同的，尽管他们的判定规则是一样的。该方法的最优函数如公式（4.24）所示：

 （4.24）

条件函数如公式（4.25）：

 （4.25）

### 4.4.3 改进的一对一组合策略

在一对一策略中，基本思路是将原来的m类多分类问题，分解成m(m-1)/2个二分类问题来解决。每个二分类问题都使用一个二分类器来进行训练处理。但是，这些二分类器对不属于它训练的两个类别的其他类别的训练文本实例没有很好的分类作用。换句话说，只要被分类的文本实例的实际类别不是二分类器学习的那对类别中的一个，分类器就无法对实例进行分类。显然，为了解决分类器的能力就应该知道待分类文本的实际类别，这也就相当于解决了文本分类问题。

在这种情况下，我们发现减少这种非相关的类别的文本的数量对降低非相关分类器的负面影响有着很大的作用。本文基于这种发现，提出一种解决方案。由于每个分类器的分类能力无法提前知道，我们的目标是根据每个分类器的能力对分类器的输出进行加权。为了定义每个分类器的能力，我们考虑使用文本实例和每个类别之间的余弦相似度来表示。

余弦相似度计算文本相似度的流程是：根据两个文本的的词，建立两个向量，计算这两个向量的余弦值，余弦值越大，两个文本越相似。假设现在文本X被表示成向量，文本Y被表示成向量，那么文本X和文本Y的余弦相似度可以用公式（4.26）来计算：

 （4.26）

本文提出的新的计算方法的步骤如下：

1. 计算待分类文本实例与每个类别的余弦相似度，将余弦相似度的值存储在向量中。
2. 根据计算出来的余弦相似度值，对二分类器进行排除操作，从R矩阵中去掉与待分类文本余弦相似度最小的类别的二分类器。
3. 使用调整过的R矩阵，结合组合策略，得出最终的判定结果。

例如，假设现在有一个待分类文本x，它的实际类别是，假设它的二分类器输出矩阵如（4.27）所示：

 （4.27）

这种情况下，当采用投票策略进行结果判定时，判定待分类文本的最终类别是。显然，与它的实际类别不同。然后，计算它与五个类别之间的余弦相似度分别为0.13，0.08，0.09，0.14，0.11，发现它与类别和的余弦相似度是最小的。我们可以将输出矩阵中包含类别和的分类结果去除，再使用投票策略对R矩阵中的每行求和比较，从而进行判定。如（4.28），可以得出最终的结果为。

 (4.28）

## 4.5 本章小结

本章首先介绍了SVM分类方法的基础知识，以及SVM常用核函数的选取等基本问题。接着主要研究了SVM在多分类问题中使用的策略，分析了“一对多”、“一对一”方法的基本原理，得出“一对一”组合方法更加适合构建SVM多分类器。重点研究“一对一”方法中存在的类别不相关分类器分类能力的问题，提出采用计算待分类文本与所有类别之间的余弦相似度来表示分类器分类能力的解决方案，从而提高“一对一”方法的分类准确度。

# 第五章 文本分类系统实现与仿真

前面几章分别介绍了文本分类技术中的特征提取和分类器算法等问题。本章将通过搭建一个文本分类系统，对前面章节的研究内容进行仿真验证。除此之外，在分析仿真结果的基础上，提出一种新的特征权值方法，进一步提高分类的准确度。

## 5.1 仿真平台说明

本节主要介绍文本分类仿真系统所使用的硬件、软件情况，以及对仿真语言Python的简单介绍。

### 5.1.1 硬件与软件情况介绍

1. 仿真系统硬件介绍

笔记本电脑一台，处理器为“Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU @2.5GHZ”，RAM为8.0GB，显卡为2G独立显卡，操作系统为Win7旗舰版64位。

2. 仿真系统软件介绍

（1）编程语言：Python 2.7.8（64-bit）版本。主要用于文本特征选择算法的实现和分类系统的搭建。

（2）科学计算环境：Anaconda 2.1.0(64-bit) 科学计算包。Anaconda安装方便，且集成了很多关于Python科学计算的第三方库，如Numpy、Scipy、Matplotlib等模块。主要用于文本特征选择和分类中的相关计算问题以及仿真系统中的相关图标的绘制。

（3）编译器：JetBrains PyCharm 4.5.4。PyCharm是由JetBrains公司旗下的专门为Python打造的编译器，用于仿真系统的开发与调试。

（4）相关工具包：sklearn工具包，主要用于各种机器学习算法的实现。Jieba工具包，主要用来对文本进行分词。Numpy工具包，主要用于数值计算操作。Matplotlib工具包，主要用来画图操作。

### 5.1.2 Python文本处理技术

Python语言作为一种解释性语言，语法简单，代码简洁、优雅，具有较强的可读性，同时代码的执行效率也令人满意。Python语言的最大特点和优势是其具有完整的基础库和非常丰富的第三方扩展库。基于这些强大的扩展库，Python能够解决很多常见问题，因此Python又被称为胶水语言。在文本处理方面，Python自身有很多内置的方法都可以对文本进行处理。在数值处理方面，Python中的Numpy和Matplotlib库也提供了几乎和MATLAB相同的数据分析与处理的能力[65]。

在自然语言处理领域，Python有着强大的处理能力，主要依赖于自然语言处理工具包（Natural Language Toolkit, NLTK）的能力。NLTK是一个基于Python的类库，是当前最为流行的自然语言编程与开发工具。通过使用NLTK，几乎可以解决所有自然语言处理领域的问题。

## 5.2 仿真系统的设计和搭建

本文第二章详细介绍了文本分类的处理流程，主要包括文本语料库的预处理、特征选择和分类器训练过程。下面对一些具体步骤进行说明：

### 5.2.1 数据集

在文本分类中，数据集是由大量文本构成的集合。通常，把数据集分为训练集和测试集，训练集主要用来构造分类模型，测试集主要是测试经过训练集训练后构造的分类模型的性能。一般将数据集的80%作为训练集，剩下的20%作为测试集。

本文中采用的数据集是搜狗提供的文本数据集。该数据集包含9个类别，每个类别包含1990个文本文件。这9个类别分别是：1）文化、2）经济、3）教育、4）职业、5）健康、6）IT、7）军事、8）体育、9）旅行。

### 5.2.2 特征选择

在文本分类的流程中，特征选择占据着重要的一环，特征选择的好坏直接决定最终分类结果的好坏。在本文第三章，对文本分类中的特征选择方法进行了详细的研究。通过前面章节的研究，本文将采用的特征选择方法有：（1）卡方统计量、（2）互信息、（3）信息增益、（4）混合卡方统计量和互信息的综合特征选择方法。通过对上面几种特征选择方法的比较，从而验证混合特征选择方法的有效性。

### 5.2.3 分类训练

当对文本特征进行选择之后，就可以利用选择后的特征对分类器进行训练。本文采用的分类器算法是SVM算法，并采用“一对一”策略进行多分类器的构建。SVM算法中的核函数选用多项式核函数，具体的参数选择在5.3节会有详细介绍。因为数据集中包含9个类别，根据“一对一”策略，要构建36个不同的二分类器。通过这些二分类器对测试集中的文本进行判断，计算测试集中待分类文本和每个类别之间的余弦相似度，对二分类器进行删选，利用权重投票策略从删选后的二分类器中判断待分类文本的类别归属。

## 5.3 仿真结果分析

通过对文本分类系统的搭建，对本文中前几章的研究重点进行仿真实验，主要包括不同特征选择方法在不同的分类器下的分类效果比较，SVM分类器的不同组合策略的分类效果比较。

### 5.3.1 特征选择方法分类效果比较

本文第三章分别对CHI特征选择方法和MI特征选择方法进行了研究，并且提出了一种新的改进的CHMI特征选择方法。本节将对这些特征选择方法在不同的分类器下分类效果进行仿真实验并分析。

1. 在SVM分类器下的表现

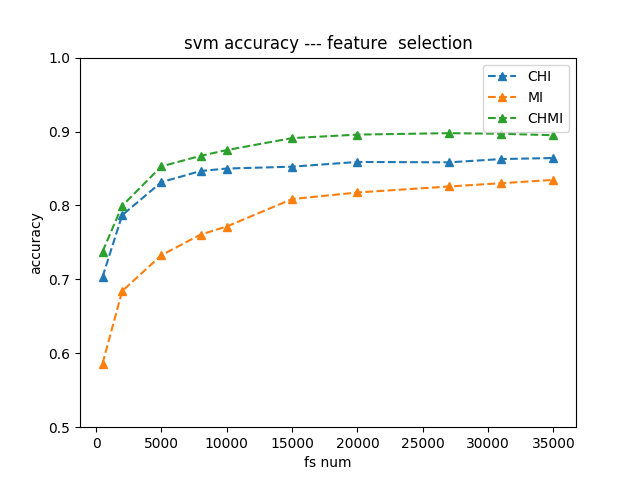
图5.1 三种特征选择方法在SVM上的分类准确率

图5.1表示的是CHI、MI和CHMI三种特征选择方法在使用SVM分类器时的分类准确率。本次实验的数据集进行分词后的特征项数量大概在20万左右，而实验选择的特征项的数量从500到35000来进行最终的分类判决。从图中可以看出，随着特征数量的增加，分类的准确率也在逐渐增加，到35000后开始趋于平缓。此外，可以看出MI特征选择方法相比CHI的分类准确率要低，且当特征数目比较小的时候，MI特征选择方法和CHI特征选择方法的准备率差距比较大，随着特征数目的增加，两种方法之间的差距会慢慢减小。CHMI特征选择方法的分类准确率一直高于CHI和MI方法，说明了本文第三章提出的新的混合特征选择方法的有效性。

表5.1 SVM下测试集各类别的分类准确率比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 特征选择方法  类别 分类准确率 | MI | CHI | CHMI |
| Culture | 61% | 69% | 73% |
| Economy | 85% | 89% | 93% |
| Education | 94% | 97% | 100% |
| Employment | 100% | 100% | 100% |
| Health | 92% | 84% | 86% |
| IT | 47% | 75% | 78% |
| Military | 91% | 93% | 97% |
| PE | 80% | 73% | 76% |
| Travel | 82% | 95% | 97% |

表5.1列出了测试集9种类别在SVM分类器下，使用三种不同特征选择方法的分类准确率。这里选取特征数量为20000时，三种特征选择方法在SVM 分类器下的分类情况。通过表可以看出MI方法的所有类别的平均分类准确率要低于CHI方法，但是也有一些类别的准确率比CHI方法高，例如Health和PE类别。而MI方法在IT类别的较低的分类准确率也是影响了整体的准确率。本文提出的改进后的特征选择方法在各个类别的表现基本都要优于CHI和MI方法。

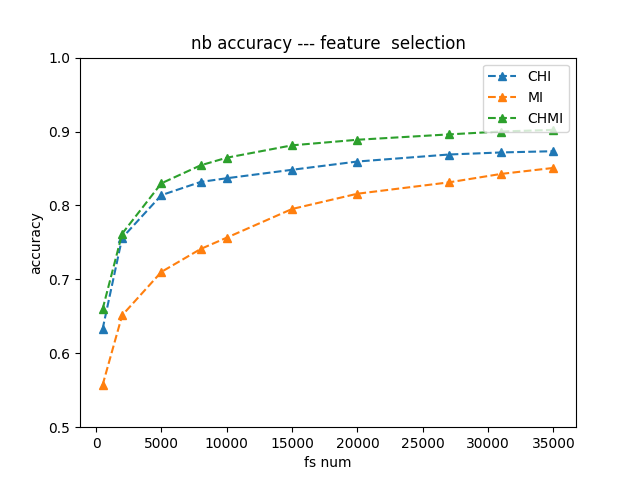
1. 在NB分类器下的表现

图5.2 三种特征选择方法在NB上的分类准确率

图5.2表示的是CHI、MI和CHMI三种特征选择方法在使用NB分类器时的分类准确率。图中可以直观的看出，在NB分类器下，CHMI特征选择方法的分类准确率也高于传统的CHI和MI特征选择方法，从而验证CHMI方法的有效性。另外，通过与图5.1的对比，可以发现当特征数目比较低的时候，例如当特征选择的数量为500时，三种特征选择方法在NB分类器下的分类准确率都低于SVM分类器下的对应的分类准确率。随着特征数目的增加，这种差距在逐渐缩小。当特征数目达到30000左右时，使用NB分类器与使用SVM分类器的分类准确率十分接近。

表5.2 NB下测试集各类别的分类准确率比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 特征选择方法  类别 分类准确率 | MI | CHI | CHMI |
| Culture | 71% | 64% | 68% |
| Economy | 90% | 92% | 96% |
| Education | 45% | 72% | 73% |
| Employment | 97% | 100% | 100% |
| Health | 98% | 92% | 98% |
| IT | 67% | 77% | 82% |
| Military | 79% | 89% | 93% |
| PE | 84% | 79% | 89% |
| Travel | 86% | 95% | 98% |

表5.2列出了测试集9种类别在NB分类器下，使用三种不同特征选择方法的分类准确率。这里选取特征数量为15000时，三种特征选择方法在NB分类器下的分类情况。通过表中可以看出，在NB分类器下，MI特征选择方法的总体分类效果最差。在Education类别，MI方法相比CHI方法和CHMI方法的差距最大，达到17%左右。在Health类别的分类效果较好，高于CHI方法的分类准确率，而其他类别的分类效果基本都要比CHI方法差。另外，表中可以直观的看出本文提出的CHMI方法的效果基本是优于MI和CHI方法的，也验证了CHMI方法在NB分类器下的有效性。

1. 在KNN分类器下的表现

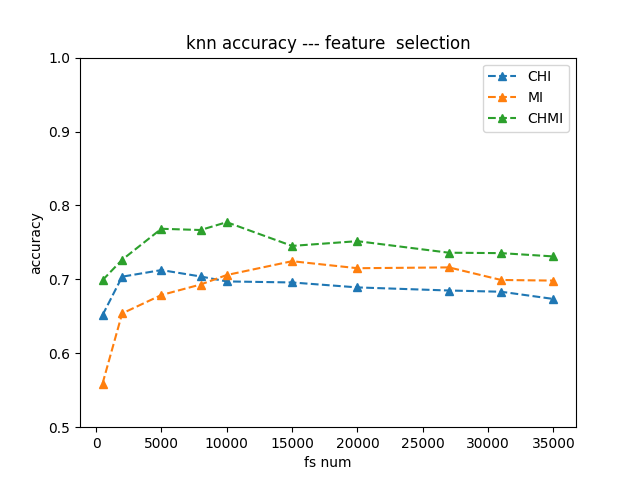
图5.3三种特征选择方法在KNN上的分类准确率

图5.3表示的是CHI、MI和CHMI三种特征选择方法在KNN分类器下的分类准确率表现。从图中可以看出，相比于SVM分类器和NB分类器，KNN分类器下的分类准确率要相对低一些。当特征数目比较小的时候，CHI特征选择方法的分类准确率要高于MI特征选择方法，但是随着特征数目的增加，CHI方法的准确率在降低，MI方法的准确率在增加 ，当特征数目超过10000时，MI方法的分类准确率要高于CHI方法。本文的CHMI特征选择方法表现的相对较好，分类准确率一直高于MI和CHI特征选择方法。除此之外，我们可以发现，在KNN分类器下，随着特征数量的增加，三种特征选择方法处理后的分类准确都有一个先增加再降低的过程，当使用KNN分类器进行分类时，要控制特征数量的选择，才能取得比较好的分类结果。

表5.3 KNN下测试集各类别的分类准确率比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 特征选择方法  类别 分类准确率 | MI | CHI | CHMI |
| Culture | 68% | 60% | 64% |
| Economy | 81% | 89% | 77% |
| Education | 83% | 87% | 91% |
| Employment | 96% | 97% | 100% |
| Health | 60% | 62% | 62% |
| IT | 50% | 56% | 61% |
| Military | 86% | 74% | 70% |
| PE | 53% | 56% | 71% |
| Travel | 39% | 75% | 79% |

表5.3展示了当特征数目为5000时，使用KNN分类器测试集的各个类别的分类准确率。首先，可以看出CHMI方法的整体平均分类准确率高于MI方法和CHI方法。只存在个别类别，如Military类别的准确率略低于前两种方法。其次，通过对比图5.3可以发现，此时的分类准确率是相对比较高的，在特征数目增加的过程中，分类准确率也在下降。再与在SVM分类器下的特征数目为20000的表5.1和在NB分类器下特征数目为15000的表5.2对比，在KNN分类器下的分类准确率相比SVM分类器和NB分类器要差一些。

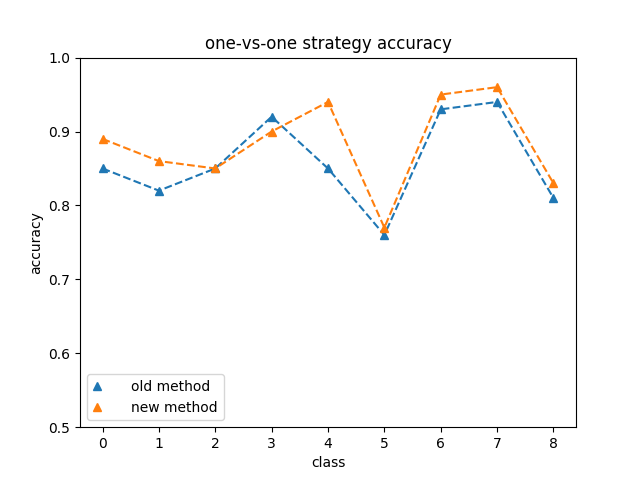
### 5.3.2 SVM组合策略仿真结果分析

本文第四章对SVM算法进行了研究，主要研究SVM的“一对一”策略，分析“一对一”策略的思路和缺点，并针对二分类器对不是训练的类别的其他类别不敏感的缺点，提出了新的改进方法。

本实验选用的数据集是搜狗数据集，该数据集包含9个类别，具体信息在5.2.1节中进行了介绍。特征选择方法选用卡方统计量（CHI）特征选择方法，特征数量选择为5000。在SVM分类器中，核函数选择多项式核函数进行分类的训练和测试。传统的SVM“一对一”方法和改进后的“一对一”方法在搜狗数据集上的分类效果如表5.4所示。

表5.4 两种组合方法的分类效果对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SVM方法  准确率  类别 | 传统方法 | 改进方法 |
| Culture | 85% | 89% |
| Economy | 82% | 86% |
| Education | 85% | 85% |
| Employment | 92% | 90% |
| Health | 85% | 84% |
| IT | 76% | 77% |
| Military | 93% | 95% |
| PE | 94% | 96% |
| Travel | 81% | 83% |
| 平均 | 85.9% | 87.2% |

图5.4 各类别在两种方法下的分类准确率对比

通过表5.4和图5.4，可以看出，本文提出的新的SVM“一对一”方法可以提高最终的分类准确率。虽然有些类别的分类准确率改进后的方法降低了，例如，Employment类别的分类准确率相比原方法降低了2%，Health类别的分类准确率相比原来降低了1%，但是降低的幅度都不大，改进方法对整个数据集的平均分类准确率是有提高的。通过表5.4发现，本文改进的方法的最终平均分类准确率比原来的方法提高了1.3%。另外，因为改进方法计算了每个待分类文本与每个类别的余弦相似度，并对余弦相似度进行排序，通过排序的余弦相似度的值来对测试的二分类器进行排除操作，去除余弦相似度最小的两个类别，从而减小了算法的计算复杂度，也保证不会误分类到错误的类别，最终提高分类准确率。

表5.5 两种方法在各类别的查全率对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SVM方法  查全率  类别 | 传统方法 | 改进方法 |
| Culture | 74% | 71% |
| Economy | 89% | 88% |
| Education | 93% | 92% |
| Employment | 98% | 93% |
| Health | 90% | 84% |
| IT | 75% | 82% |
| Military | 95% | 94% |
| PE | 88% | 91% |
| Travel | 74% | 85% |
| 平均 | 86.2% | 86.7% |

表5.5表示的是两种SVM方法在各类别上的查准率的情况。通过表可以看出，改进的利用余弦相似度的方法相比原来的方法，查准率也有了相应的提高。此外，对于传统方法的各类别间查准率差距较大的情况，改进的方法也有所改善。例如，原方法中Culture、IT、Travel三个类别的查准率均低于80%，而Employment类别的查准率则高达98%，差距较大。改进后的方法中，只有Culture类别的查准率低于80%，整体较为均衡。

### 5.3.3 一种改进的SVM核函数

在上节中分析的SVM方法中，核函数选择为多项式核函数，是一种旋转不变核函数，即它可以被核函数代表，上式中的是一个一元实函数。多项式核函数属于全局核函数，优点是能够提取较为全面的样本总体的特征，具有较高的泛化能力，缺点是插值能力相对较低。相反，高斯核函数则是一种平移不变函数，即它可被函数表示。高斯核函数是一种局部核函数，对于局部的学习分类性能优于对整体的学习分类能力。本文针对多项式核函数和高斯核函数的函数互补特点，提出一种结合多项式核函数和高斯核函数的综合核函数。

核函数的概念在本文4.3节已经进行过介绍，一个核函数必然是正定的，假设都是核函数，那么下面三个函数也一定是核函数：

（1）

（2）

（3）如果存在，那么一定为核函数

下面给出（1）式的证明：

对于任意的，根据定理可以得出相应的格拉姆矩阵，都为Positive Definite Matrix。选取，有，也就证明了对应的格拉姆矩阵都为正定矩阵，所以证明为核函数。

同理可证（3）式为核函数。对于正定矩阵来说，对应元素之间相乘后结果仍然是封闭的，可以证明（2）式为核函数。

除了上面三个函数外，还有一个定理对我们构造新的核函数有重要作用。即对于一个核函数，存在一个函数，那么也是核函数。显然，函数和对称，那么任意选取m个X，即，，那么可以得到：

 （5.1）

所以是正定的，联合上面（2）式，可以得出是核函数的结论。

根据上面分析的核函数的定理，以及全局核函数和局部核函数的各自的性能和特点，本文构造一个新的核函数：

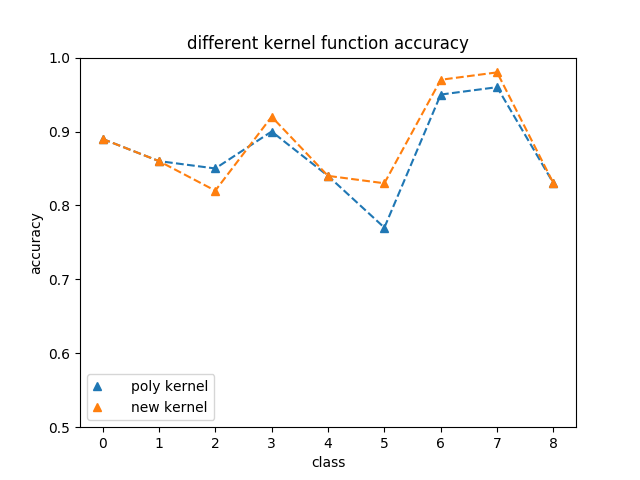
 （5.2）

根据上文的定理可以证明式（5.2）是满足Mercer条件的有效可行核函数，且以多项式核函数和高斯核函数为基础单元，理论上既有利于提取训练样本的局部特征，又有利于兼顾到训练样本的全局性特征。本文中的实验中，调节参数k设置为0.2。

通过新的核函数进行实验分类的结果如下所示：

表5.6 新的核函数方法的分类准确率

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| SVM方法  准确率  类别 | 多项式核函数 | 混合核函数 |
| Culture | 89% | 89% |
| Economy | 86% | 86% |
| Education | 85% | 82% |
| Employment | 90% | 92% |
| Health | 84% | 84% |
| IT | 77% | 83% |
| Military | 95% | 97% |
| PE | 96% | 98% |
| Travel | 83% | 83% |
| 平均 | 87.2% | 88.2% |

图5.5 新核函数和多项式核函数分类准确率对比

根据表5.4和图5.5可以发现，采用新的混合核函数进行分类可以有效提高各类别的最终分类准确率。所有类别的整体分类准确率平均提高了1%。虽然“Economy”类别相比之前，准确率降低了3%，但降低的并不是很多。整体而言，新的核函数的分类准确率还是比较高。除此之外，新的核函数提高了个别分类效果很差的类别的准确率。例如“IT”类别，使用多项式核函数分类准确率在77%，采用新的核函数分类准确率可以达到83%。实验证明，采用多项式核函数和高斯核函数结合的新的核函数可以有效提升训练集各类别的分类准确率，并可以提高个别效果比较差的类别的分类准确率，使整体分类准确率比较均衡。

## 5.4 本章小结

本章针对本文的文本分类分析，搭建了一个基于机器学习的文本分类系统，对前文的研究内容进行实验验证。首先，介绍了搭建系统的仿真平台，接着介绍了系统中涉及的几个重要的模块。在仿真结果与分析部分，先对特征选择方法对文本分类准确率的影响进行验证，证明本文提出的CHMI特征选择方法的有效性。实验证明使用余弦相似度计算文本相似度对“一对一”SVM方法进行改进的可行性和有效性。针对多项式核函数和高斯核函数的特点，利用核函数的性质和构成定理，提出新的核函数，并进行了实验验证。

# 第六章 总结与展望

## 6.1 工作总结

本文主要研究基于机器学习的文本分类，先论述了文本分类技术的研究背景与研究意义，然后介绍了文本分类技术的国内外研究现状。文本分类技术主要包含预处理部分和分类训练部分。本文主要针对预处理部分的特征选择部分和分类器训练部分进行研究，主要内容如下：

（1）文本特征选择部分：通过分析CHI特征选择方法和MI特征选择方法自己的优缺点，针对低频词敏感的特点，进行参数调整，并提出一种混合两种方法的新的特征选择方法。通过仿真实验，证明了新的特征选择方法在NB、SVM和KNN分类器下，都有比较好的分类效果。

（2）支持向量机分类器方面：研究了支持向量机的基本理论和实现方式。对于多分类问题，一般可以采用“一对一”和“一对多”两种分类组合方式进行分类训练。本文对“一对一”方式进行深入研究，并提出使用余弦相似度对“一对一”方式中的不相关类别进行删除，从而提升分类准确率。实验表明，文本提出的方法对各类别的分类准确率都有提升。

（3）支持向量机核函数方面：研究了支持向量机中核函数的定义，并对支持向量机中常用的核函数进行介绍和分析，利用构造核函数的定理，结合具有不同特点的全局核函数和局部核函数，提出新的结合多项式核函数和高斯核函数的新的核函数，通过实验证明了新的核函数对分类准确率的提升效果。

## 6.2 研究展望

本文研究基于机器学习的文本分类技术，并从特征选择和分类器两个部分进行深入研究，提出CHMI特征选择方法和改进的“一对一”组合方法提升了分类准确率。但需要深入研究的内容还有很多，未来的研究方向主要有：

（1）特征选择部分。作为文本分类流程中的关键部分，特征选择的好坏决定这最终分类的结果。除了常见的特征选择方法，我们还需要继续深入研究特征选择方法，探寻更好的算法提取文本特征。

（2）支持向量机分类器部分。支持向量机在机器学习中非常常见，在文本分类中的应用也很多。关于“一对一”组合策略，还有一些问题存在，以后可以考虑其他可以衡量文本之间相似度的变量，例如欧式距离等。

（3）深度学习技术。随着深度学习的火热，越来越多的领域在应用深度学习技术。在文本分类领域采用深度学习技术是下面可以继续研究的地方。

# 参考文献

[1] 苏金树, 张博锋, 徐昕. 基于机器学习的文本分类技术研究进展[J]. 软件学报, 2006, 17(9): 1848-1859.

[2] Aggarwal C C, Zhai C X. A survey of text classification algorithms[J]. Mining text data, 2012: 163-222.

[3] Sebastiani F. Machine learning in automated text categorization[J]. ACM computing surveys (CSUR), 2002, 34(1): 1-47.

[4] Apté C, Damerau F, Weiss S M. Automated learning of decision rules for text categorization[J]. ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 1994, 12(3): 233-251.

[5] 蒲筱哥. Web 自动文本分类技术研究综述[J]. 情报学报, 2009 (2): 233-241.

[6] 王继成, 萧嵘, 孙正兴, 等. Web 信息检索研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(2): 187-193.

[7] Luhn H P. Auto-encoding of documents for information retrieval systems[M]. IBM Research Center, 1958.

[8] Maron M E, Kuhns J L. On relevance, probabilistic indexing and information retrieval[J]. Journal of the ACM (JACM), 1960, 7(3): 216-244.

[9] 成颖, 史九林. 自动分类研究现状与展望[J]. 情报学报, 1999, 18(1): 20-26.

[10] 樊兴华, 孙茂松. 一种高性能的两类中文文本分类方法[J]. 计算机学报, 2006, 29(1): 124-131.

[11] 谭松波.高性能文本分类算法研究[D].中国科学院研究生院（计算机技术研究所）,2006.

[12] Lewis D D. Feature selection and feature extraction for text categorization[C]//Proceedings of the workshop on Speech and Natural Language. Association for Computational Linguistics, 1992: 212-217.

[13] Guyon I, Elisseeff A. An introduction to variable and feature selection[J]. Journal of machine learning research, 2003, 3(Mar): 1157-1182.

[14] Murty M R, Murthy J V R, Reddy P P, et al. A survey of cross-domain text categorization techniques[C]//Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2012 1st International Conference on. IEEE, 2012: 499-504.

[15] Silla Jr C N, Freitas A A. A survey of hierarchical classification across different application domains[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 2011, 22(1-2): 31-72.\

[16] 王小青. 中文文本分类特征选择方法研究[D]. 西南大学, 2010.

[17] Zhenliang C, Jian W, Jiqiang L. Novel feature selection algorithm for Chinese text categorization based on CHI[C]//Signal Processing (ICSP), 2016 IEEE 13th International Conference on. IEEE, 2016: 1035-1039.

[18] Cheng S, Shi Y, Qin Q. Examples initialization in Chinese text categorization[C]//Information Science and Technology (ICIST), 2013 International Conference on. IEEE, 2013: 967-971.

[19] Li X, Liu H, Jia H, et al. Research on the categorization accuracy of different similarity measures on Chinese texts[C]//Business Management and Electronic Information (BMEI), 2011 International Conference on. IEEE, 2011, 4: 224-227.

[20] 荣光. 中文文本分类方法研究 [D][D]. 山东师范大学, 2009.

[21] Basu T, Murthy C A. Effective text classification by a supervised feature selection approach[C]//Data Mining Workshops (ICDMW), 2012 IEEE 12th International Conference on. IEEE, 2012: 918-925.

[22] 甘立国. 中文文本分类系统的研究与实现[D]. 北京化工大学, 2006.

[23] 贺鸣. 文本分类中基于词频再排序的特征选择方法研究[D]. 南京大学, 2016.

[24] 陈雨杰. 文本分类中特征选择算法研究[D]. 硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

[25] Silva C, Ribeiro B. The importance of stop word removal on recall values in text categorization[C]//Neural Networks, 2003. Proceedings of the International Joint Conference on. IEEE, 2003, 3: 1661-1666.

[26] Song F, Liu S, Yang J. A comparative study on text representation schemes in text categorization[J]. Pattern analysis and applications, 2005, 8(1-2): 199-209.

[27] Lovins J B. Development of a stemming algorithm[J]. Mech. Translat. & Comp. Linguistics, 1968, 11(1-2): 22-31.

[28] Yang Y, Pedersen J O. A comparative study on feature selection in text categorization[C]//Icml. 1997, 97: 412-420.

[29] Jingbo Z, Wenliang C, Tianshun Y. Using seed words to learn to categorize Chinese text[M]//Advances in Natural Language Processing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004: 464-473.

[30] Kim H, Kim J. Combining active learning and boosting for naıve bayes text classifiers[J]. Advances in Web-Age Information Management, 2004, 3129: 519-527.

[31] 史伟. 中文自动分词关键技术研究与实现[D]. 电子科技大学, 2008.

[32] Liu K Y, Zheng J H. Research of automatic Chinese word segmentation[C]//Machine Learning and Cybernetics, 2002. Proceedings. 2002 International Conference on. IEEE, 2002, 2: 805-809.

[33] 揭春雨, 刘源, 梁南元. 论汉语自动分词方法[J]. 中文信息学报, 1989, 3(1): 3-11.

[34] Lebanon G, Mao Y, Dillon J. The locally weighted bag of words framework for document representation[J]. Journal of Machine Learning Research, 2007, 8(Oct): 2405-2441.

[35] Lewis D D, Croft W B. Term clustering of syntactic phrases[C]//Proceedings of the 13th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 1989: 385-404.

[36] Lewis D D. An evaluation of phrasal and clustered representations on a text categorization task[C]//Proceedings of the 15th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 1992: 37-50.

[37] Shafiei M, Wang S, Zhang R, et al. Document representation and dimension reduction for text clustering[C]//Data Engineering Workshop, 2007 IEEE 23rd International Conference on. IEEE, 2007: 770-779.

[38] Cavnar W B, Trenkle J M. N-gram-based text categorization[J]. Ann Arbor MI, 1994, 48113(2): 161-175.

[39] Salton G, Wong A, Yang C S. A vector space model for automatic indexing[J]. Communications of the ACM, 1975, 18(11): 613-620.

[40] Robertson S E, Jones K S. Relevance weighting of search terms[J]. Journal of the Association for Information Science and Technology, 1976, 27(3): 129-146.

[41] Sebastiani F. Machine learning in automated text categorization[J]. ACM computing surveys (CSUR), 2002, 34(1): 1-47.

[42] Apte C, Damerau F, Weiss S. Text mining with decision rules and decision trees[M]. IBM Thomas J. Watson Research Division, 1998.

[43] Han E H S, Karypis G, Kumar V. Text categorization using weight adjusted k-nearest neighbor classification[C]//Pacific-asia conference on knowledge discovery and data mining. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001: 53-65.

[44] Cohen W W, Singer Y. Context-sensitive learning methods for text categorization[J]. ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 1999, 17(2): 141-173.

[45] 高亚波. 文本分类系统的设计与实现 [D][D]. 北京交通大学, 2008.

[46] Yang Y, Liu X. A re-examination of text categorization methods[C]//Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 1999: 42-49.

[47] 王新丽. 中文文本分类系统的研究与实现[D]. 天津大学硕士研究生论文, 2007.

[48] 许高建, 路遥, 胡学钢, 等. 一种改进的文本特征选择方法的研究与设计[J]. 苏州大学学报: 工科版, 2008, 28(2): 18-22.

[49] 刘意珍, 宋精涛. 文本分类中的特征选取[J]. 计算机工程, 2004, 3(4).

[50] Han J, Pei J, Kamber M. Data mining: concepts and techniques[M]. Elsevier, 2011.

[51] 陈亮, 龚俭. 基于卡方统计的应用协议流量行为特征分析方法[J]. Journal of Software, 2010, 21(11): 2852-2865.

[52] 赵华, 赵铁军, 张姝, 等. 基于内容分析的话题检测研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(10): 1740-1743.

[53] Vapnik V. The nature of statistical learning theory[M]. Springer science & business media, 2013.

[54] 王建芬, 曹元大. 支持向量机在大类别数分类中的应用[J]. 北京理工大学学报, 2001, 21(2): 225-228.

[55] Hsu C W, Lin C J. A comparison of methods for multiclass support vector machines[J]. IEEE transactions on Neural Networks, 2002, 13(2): 415-425.

[56] 王之鹏. Web 文本分类系统中文本预处理技术的研究与实现[D]. 南京理工大学, 2009.

[57] 孙建涛, 沈抖, 陆玉昌, 等. 网页分类技术[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(1): 65-68.

[58] 王立达. 基于混合核函数的 SVM 及其应用研究[D]. 大连海事大学, 2016.

[59] 张浩然, 韩正之, 李昌刚. 支持向量机[J]. 计算机科学, 2002, 29(12): 135-137.

[60] 张学工.关于统计学习理论与支持向量机[J].自动化学报,2000,26(1):32-42.

[61] 祁亨年.支持向量机及其应用研究综述[J].计算机工程,2004,5(4):6-9.

[62] Bors A G, Pitas I.Median radial basis function neural network in Neural Networks[J]. IEEE Transactions on Neural Networks,1999,7(6):1351-1364.

[63] Simon I H.Adapting Two-Class Support Vector Classification Methods to Many Class Problem[C].The 22th International Conference on Machine Learning,Bonn Germany,2005,313-320.

[64] Liu Y, Bi J W, Fan Z P. A method for multi-class sentiment classification based on an improved one-vs-one (OVO) strategy and the support vector machine (SVM) algorithm[J]. Information Sciences, 2017, 394: 38-52.

[65] Jan Erik Solem（着）.朱文涛，袁勇（译）.Python计算机视觉[M].北京：人民邮电出版社.2014：1-24.

# 附录1 攻读硕士期间撰写的论文

1. 王振、邱晓晖，混合CHI和MI的改进文本特征选择方法，计算机技术与发展，2017.10

# 致谢

时光荏苒，三年的研究生时光匆匆而过，我的研究生和我的学生生涯即将迎来结束。在研究生求学的三年中，我收获了很多宝贵的学习经验和生活阅历，成长了很多。这三年的经历将是我人生中宝贵的财富，在这里我要向帮助、指导我的各位老师、同学和家人表示真挚的感谢。

首先，我要感谢我的研究生导师邱晓晖教授。读研期间在邱老师的指导下，发表了小论文一篇，另外，邱老师从科研课题的选择、课题的研究、一直到最终论文的修改都耐心的指导着我。邱老师的认真与严谨深深的感染着我，我将在以后的工作中也保持着这种认真与严谨的精神。

其次，我要感谢同门师兄师姐师弟师妹的帮助与建议，感谢你们的陪伴，有你们一起在教研室的日子真好。感谢我的室友们，这三年的时间和你们相处的很愉快，在我心情低落的时候，是你们的陪伴与鼓励让我走出阴霾，踏步前行，感谢你们！我相信我会永远记住这段快乐的学生时光，记住我们一起爬山、娱乐、拼搏的日子，我也坚信你们的未来将会无限光明！

当然，还要感谢我的爸爸妈妈，感谢你们对我学业的支持，感谢你们对我各方面的关系。上学的二十年，是你们的努力，让我走到了今天，有你们做我的后盾，我的路会走的更加坚定与宽广。

感谢这三年中遇到的每个人，感谢曾经帮助我的每位同学、老师和朋友。感谢学校为我们提供舒适的学习环境。

最后，非常感谢专家导师们，感谢您们抽出宝贵时间审阅我的论文并提出宝贵意见和建议，感谢您们！