

分类号 TP391.1

学号 10069068

UDC

密级 公开

工学博士学位论文

社交媒体中观点信息分析与应用

博士生姓名 谢松县

学科专业 计算机科学与技术

研究方向 自然语言处理

指导教师 王挺 教授

国防科学技术大学研究生院

二〇一四年十月

Opinion Mining and Application in Social Media

Candidate: Xie Songxian

Supervisor: Professor Wang Ting

A dissertation

Submitted in partial fulfillment of the requirements

for the degree of Doctor of Engineering

in Computer Science and Technology

Graduate School of National University of Defense Technology

Changsha, Hunan, P. R. China

October 21, 2014

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我本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，除文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表和撰写过的研究成果，也不包含为获得国防科学技术大学或其他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谢意。

学位论文题目：_____ 社交媒体中观点信息分析与应用 _____

学位论文作者签名：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

学位论文版权使用授权书

本人完全了解国防科学技术大学有关保留、使用学位论文的规定。本人授权国防科学技术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、汇编学位论文。

(保密学位论文在解密后适用本授权书。)

学位论文题目：_____ 社交媒体中观点信息分析与应用 _____

学位论文作者签名：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

作者指导教师签名：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

目 录

摘 要	i
ABSTRACT	iii
第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 社交媒体	1
1.1.2 主观性信息	4
1.2 研究问题	8
1.3 相关研究	9
1.3.1 Twitter 与自然语言处理	9
1.3.2 信息检索与机器学习	11
1.3.3 Twitter 中的传播分析	12
1.4 研究内容与方法	13
1.4.1 本文研究内容	13
1.4.2 本文研究方法	15
1.5 本文主要贡献	16
1.6 本文结构	17
第二章 应用语义关系自动构建情感词典	20
2.1 引言	20
2.2 词典资源简介	20
2.2.1 HowNet 语义词典	20
2.2.2 WordNet 语义词典	21
2.2.3 SentiWordNet 情感词典	21
2.3 基于语义关系的情感词典构建方法	21
2.3.1 词语抽取和义原抽取及语义分析	24
2.3.2 情感值的查询与计算	24
2.3.3 词语情感值计算	26
2.4 实验及结果	27
2.4.1 评价指标	27
2.4.2 性能评测结果	27
2.5 小结	28

第三章 基于语料资源的中文情感词典扩展	29
3.1 引言	29
3.2 问题描述	30
3.3 数据集及预处理	30
3.4 基于语言特征的情感词典扩展	31
3.4.1 连词选择	31
3.4.2 基于连词的极性计算	32
3.4.3 实验	32
3.5 基于统计特征的情感词典扩展	33
3.5.1 统计特征选择	34
3.5.2 基于上下文的情感词极性计算	34
3.5.3 实验	34
3.6 基于混合特征的情感词典扩展	36
3.6.1 基于混合特征的情感词极性计算	36
3.6.2 实验	37
3.7 小结	37
第四章 无监督的自举式情感分类	40
4.1 引言	40
4.2 相关工作	41
4.3 问题的形式化	42
4.4 无监督的情感分类框架	44
4.4.1 通用情感分类器	45
4.4.2 微博情感分类器	45
4.4.3 分类器的组合	46
4.4.4 分类器算法	48
4.5 实验	49
4.5.1 实验描述	50
4.5.2 实验结果	51
4.6 小结	52
第五章 用户主观性建模	53
5.1 引言	53
5.2 相关工作	55
5.3 观点集成问题	55

5.4	主观模型	57
5.4.1	模型定义	57
5.4.2	主观模型的构建	58
5.4.3	与生成模型比较	60
5.4.4	主观模型的应用	62
5.5	实验	63
5.5.1	数据集及设置	63
5.5.2	样例分析	64
5.5.3	观点预测性能	65
5.6	小结	66
第六章	转发分析	67
6.1	引言	67
6.2	相关工作	69
6.3	基于主观模型的转发分析	69
6.3.1	主观模型	70
6.3.2	主观相似性	72
6.3.3	转发行为分析	73
6.4	Experiments	76
6.4.1	Dataset and Settings	76
6.4.2	Correlation Test	76
6.4.3	Case Study	76
6.4.4	Performance Evaluation	78
6.5	Conclusion	79
第七章	总结与展望	81
7.1	工作总结	81
7.2	工作展望	82
致谢		84
参考文献		85
作者在学期间取得的学术成果		103

表 目 录

表 1.1	Alexa 统计访问量前十名网站	2
表 1.2	社交媒体的类型	2
表 2.1	T=0.05 时的性能对比	28
表 3.1	数据集及词典资源	30
表 3.2	各个领域性能评测结果	32
表 3.3	各个领域性能评测结果	37
表 4.1	结果对比表	51
表 5.1	Twitter 数据集统计	63
表 5.2	评价结果。相对于 OF 显著的性能提升使用 * 标记。	66
表 6.1	观点相似性示例	72
表 6.2	ANOVA results for subjectivity similarities. If the difference is due to chance, $F\text{-ratio}=1.00$, otherwise $F\text{-ratio} > 1.00$ ($p\text{-value} < 0.01$).	77
表 6.3	Illustration of example subjectivity similarities	78
表 6.4	Accuracy performance. A significant improvement over baseline with * and LUO's model with ‡ ($p < 0.05$).	79

图 目 录

图 1.1	形形色色的中英文社交媒体	1
图 1.2	本文研究框架	14
图 1.3	论文整体结构图	18
图 2.1	HowNet 中概念的定义方式	21
图 2.2	基于语义关系的情感词典解决方案	23
图 2.3	词语和义原抽取处理流程	24
图 2.4	义原情感值计算过程	25
图 2.5	不同 T 值时的性能指标	28
图 3.1	语料预处理记录格式	31
图 3.2	Hotel 语料评测结果	35
图 3.3	Book 语料评测结果	36
图 3.4	NoteBook 语料评测结果	36
图 3.5	Hotel 语料评测结果综合比较	38
图 3.6	Book 语料评测结果综合比较	38
图 3.7	NoteBook 语料评测结果综合比较	38
图 4.1	自举式学习框架	47
图 4.2	λ 值的确定。	51
图 5.1	主观模型总体框架.	54
图 5.2	观点集成问题示例。	56
图 5.3	用户层面 LDA 话题模型	59
图 5.4	微博词云	64
图 5.5	主观模型。主观模型中, 左侧图代表话题分部: ($w_u(2) = 0.08, w_u(32) = 0.48, w_u(83) = 0.44$); 右侧图代表观点的分部: $O_2 = (d_{u,2}(4) = 0.5, d_{u,2}(5) = 0.5), O_{32} = (d_{u,32}(4) = 1.0), O_{83} = (d_{u,83}(4) = 0.5, d_{u,83}(5) = 0.5)$ 。	64
图 6.1	问题图示	67
图 6.2	可视化主观模型示例	71
图 6.3	An illustration of subjectivity models of a tweet, author and two followers.	77

摘 要

现在的互联网上社交媒体随处可见，这给信息检索和传播分析工作带来了机遇与挑战。本文主要围绕在社交媒体中如何找到重要的信息以及信息是如何传播的展开。我们将 **Twitter** 作为研究对象，因为它是目前最著名的社交媒体之一，并且数据是公开的。这样从隐私的角度考虑，获取研究数据变得容易且能很好的为研究任务（如信息检索）服务。

信息检索的主要任务是在文档集合中，找到与给定话题相关的客观文本或主观文本。**Twitter** 是一个丰富的包含各种话题及其评论信息的资源库，本文将探讨如何在 **Twitter** 中找到相关的信息。但是 **tweet** 的短小化和非正式的文本特点，使得 **Twitter** 中的检索不同于以往的检索任务（如，网页检索）。本文将通过研究 **tweet** 文本特点和特有的 **Twitter** 社交媒体属性帮助 **Twitter** 检索。另外，**Twitter** 中信息的传播是一种普遍现象且与消息的质量相关（帮助 **Twitter** 中检索高质量的信息）。因此，我们从 **tweet** 本身和用户的角度，研究哪些因素影响了 **tweet** 的转发和人的转发行为。

我们的工作主要有四个部分：(1) 利用结构化信息的 **Twitter** 检索；(2) **Twitter** 观点检索；(3) **Twitter** 中传播观点的发现；(4) **Twitter** 中信息传播者的发现。四个工作具体如下：

利用结构化信息的 Twitter 检索：*Twitter* 检索是在 *Twitter* 中找到与给定话题相关的 *tweet* 的任务。绝大部分的 **Twitter** 检索系统在构造检索模型时一般都认为 **tweet** 是一个平面文本，但用户在编辑 **tweet** 时的一些习惯使得 **tweet** 文本呈现结构化的特点。这种结构化是通过一些不同的文本积木块组合而成，积木类型具体包括平面文本、主题词、链接、提及等。每一种积木都有自己独特的本质，一系列积木的排序组合又反映了一定的话语转换。以往的研究发现，通过开发文本的结构信息能够帮助结构化文本的检索（例如，网页检索）。本工作通过积木结构开发 **tweet** 的结构化信息，以此帮助 **Twitter** 检索。我们利用积木及其排列组合开发了一系列特征，并将其应用到排序学习的框架中。我们发现利用结构化 **tweet** 的方法进行检索能够达到目前最好的 **Twitter** 检索方法效果，将结构化 **tweet** 的方法和其他社交媒体特征一起使用能够进一步提高 **Twitter** 的检索效果。

Twitter 观点检索：观点检索是在数据中找到对指定话题表达正面或反面观点的 *tweet* 的任务。人们几乎在 **Twitter** 中表达了任何话题的观点，使其成为一个丰富的观点资源库。但是 **Twitter** 中也存在大量的垃圾信息和各种不同类型的文

本,使得 Twitter 中的观点检索充满挑战。我们提出了如何利用 *tweet* 的社交媒体信息和文本结构化信息的方法帮助 Twitter 的观点检索。特别的,基于排序学习,我们发现 *tweet* 的用户信息(如用户包含朋友的数目)、*tweet* 文本本身的结构信息和观点化程度影响着 *tweet* 的排序结果。实验结果表明社交媒体信息能够帮助 Twitter 的观点检索。基于无监督学习评价 *tweet* 观点化程度,并以此开发特征形成的检索方法能够到达手工标注 *tweet* 的有监督方法的检索效果,且这种方法能够帮助观点检索中话题依赖问题的解决。最后,我们在重新标注的 TREC Tweets2011 数据集上进一步验证了我们 Twitter 观点检索方法的有效性。

Twitter 中传播观点的发现: Twitter 已经变成人们收集观点做出决策的重要资源,但是数量众多且差异巨大的观点严重影响了人们使用这些资源的效果。本文我们考虑了如何在 Twitter 中找到传播观点的任务——*tweet* 不仅表达了对某些话题的观点,且这个 *tweet* 在未来会被转发。利用排序学习模型,我们开发了一系列特征,具体包括 *tweet* 的传播度特征、观点化特征和文本质量特征。实验结果证明了我们开发的特征对于 Twitter 中传播观点的发现是有效的,并且将所有特征整合的方法在发现效果上能够显著优于 BM25 方法和 Twitter 观点检索方法。最后,我们发现我们的方法在预测观点传播上可以达到人预测的水平。

Twitter 中信息传播者的发现: Twitter 和其它社交网络中一个重要的交流机制就是消息传播——人们分享其他人创建的消息。虽然目前有许多工作研究了 Twitter 中的 *tweet* 是如何传播的(转发),但是一个未解决的问题是到底谁会转发给定的 *tweet*。这里我们考虑了在 Twitter 中给定一条 *tweet*,发现作者的粉丝中谁会转发。利用排序学习模型的框架,我们设计了一些特征,包括用户历史的转发信息,用户自身的社交媒体特征,用户使用 Twitter 的活跃时间,以及用户的个人兴趣。我们发现经常转发和提及作者的粉丝和与作者有相同兴趣爱好的人最有可能成为信息传播者。

通过以上四个问题的研究,我们发现 *tweet* 的文本信息和 Twitter 的社交媒体特征能够帮助 Twitter 信息检索和传播分析。

关键词: Twitter; 信息检索; 观点检索; 传播观点; 信息传播者

ABSTRACT

Social Media is now ubiquitous on the internet, generating both new possibilities and new challenges in information retrieval and propagation analysis. This thesis focus on finding important information and propagated information analysis in Social Media. We take Twitter as our research subject, since it is one of the most Social Media and public by default, which makes the data less problematic from a privacy standpoint, far easier to obtain and more amenable to target applications (such as information retrieval).

The main tasks in information retrieval are finding related objective or subjective documents about some topics in collection. Twitter is rich resource which contains information about various topics and opinions. Here we investigate how to find these information in Twitter. However, Twitter retrieval is different from traditional retrieval tasks (e.g, web search), since the text of tweet is short and informal. In this study we exploit textual features of tweet and the social media features to improve Twitter retrieval. Additionally, information dissemination is a prevalent phenomenon in Twitter and is related to the quality of message (which can help finding high quality information in Twitter). Therefore, from the point of view of tweets and users, we study the factors which affect tweet retweeting and users' retweeting behavior.

Our work can be divided into four parts: (1) improving Twitter retrieval by exploiting structural information, (2) opinion retrieval in Twitter, (3) finding propagated opinion in Twitter, (4) finding retweeters in Twitter. We introduce the four work in detail as follows:

Improving Twitter retrieval by Exploiting structural information. *Twitter retrieval deals with finding related tweets about some topics in Twitter.* Most Twitter search systems generally treat a tweet as a plain text when modeling relevance. However, a series of conventions allows users to tweet in structural ways using combination of different blocks of texts. These blocks include plain texts, hashtags, links, mentions, etc. Each block encodes a variety of communicative intent and sequence of these blocks captures changing discourse. Previous work shows that exploiting the structural information can improve the structured document (e.g., web pages) retrieval. In this study we utilize the structure of tweets, induced by these blocks, for Twitter retrieval. A set of features, derived from the blocks of text and their combinations, is used into a learning-to-rank scenario. We show that structuring tweets can achieve state-of-the-art performance. Our

approach does not rely upon social media features, but when we do add this additional information, performance improves significantly.

Opinion retrieval in Twitter. *Opinion retrieval deals with finding relevant documents that express either a negative or positive opinion about some topics.* Social Networks such as Twitter, where people routinely post opinions about almost any topic, are rich environments for opinions. However, spam and wildly varying documents makes opinion retrieval within Twitter challenging. Here we demonstrate how we can exploit social and structural textual information of tweets and improve Twitter-based opinion retrieval. In particular, within a learning-to-rank technique, we explore the question of whether aspects of an author (such as the number of friends they have), information derived from the body of tweets and opinionatedness ratings of tweets can improve performance. Experimental results show that social features can improve retrieval performance. Retrieval using a novel unsupervised opinionatedness feature achieves comparable performance with a supervised method using manually tagged Tweets. Topic-related specific structured Tweet sets are shown to help with query-dependent opinion retrieval. Finally, we further verify the effectiveness of our approach for opinion retrieval in re-tagged TREC Tweets2011 corpus.

Finding Propagated opinions in Twitter. Twitter has become an important source for people to collect opinions to make decisions. However the amount and the variety of opinions constitute the major challenge to using them effectively. Here we consider the problem of *finding propagated opinions – tweets that express an opinion about some topics, but will be retweeted.* Within a learning-to-rank framework, we explore a wide spectrum of features, such as retweetability, opinionatedness and textual quality of a tweet. The experimental results show the effectiveness of our features for this task. Moreover the best ranking model with all features can outperform a BM25 baseline and state-of-the-art for Twitter opinion retrieval approach. Finally, we show that our approach equals human performance on this task.

Finding retweeters in Twitter. An important aspect of communication in Twitter (and other Social Networks) is message propagation – people creating posts for others to share. Although there has been work on modelling how tweets in Twitter are propagated (retweeted), an untackled problem has been **who** will retweet a message. Here we consider the task of *finding who will retweet a message posted on Twitter.* Within a learning-to-rank framework, we explore a wide range of features, such as retweet history, followers

status, followers active time and followers interests. We find that followers who retweeted or mentioned the author's tweets frequently before and have common interests are more likely to be retweeters.

Based on the study of four work above, we find the textual information of tweet and social media features in Twitter can help Twitter retrieval and propagation analysis.

Key Words: Twitter; Information Retrieval; Opinion Retrieval; Propagated Opinion; Retweeter

第一章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 社交媒体

作为划时代的创新，互联网 20 年以来已深刻影响和改变着我们的生活，思维和行为方式。尤其现在，我们可以通过手机、各种穿戴式智能设备，随时随地保持与互联网不间断联系。根据中国互联网络信息中心的权威报告，截至 2014 年 7 月，我国网民规模达 6.41 亿，手机网民规模已超过 5 亿，互联网普及率为 47.4%¹。随着互联网技术的迅猛发展，出现了形形色色吸引用户参与的社交媒体 (Social Media) 平台，并且已经成为人类工作、学习、生活必不可少的重要部分。图 1.1 展示了在线的各种国内外的中英文社交媒体平台。



图 1.1 形形色色的中英文社交媒体

社交媒体中的互联网用户不但是单纯的信息接收者，也已经成为信息的制造者，人们通过社交媒体平台进行交流获取和产生信息。目前，中国拥有 12 亿手机用户、5 亿微博用户、5 亿微信用户，每天信息发送量超过 200 亿条，交流无处不在、无时不有。表 1.1 中可以看出，根据互联网网站流量信息公司 Alexa²统计，流量前十的互联网网站中社交媒体平台占了绝大部分。

那么什么是社交媒体呢？作为社交媒体的维基百科是这样定义的³：

¹http://www.cnnic.cn/hlwfzyj/hlwfzzx/qwfb/201408/t20140825_47878.htm

²www.alexa.com

³<http://en.wikipedia.org/wiki/Socialmedia/>

表 1.1 Alexa 统计访问量前十名网站

排名	网站	排名	网站
1	Google.com	6	Wikipedia.org
2	Facebook.com	7	Amazon.com
3	Youtube.com	8	Twitter.com
4	Yahoo.com	9	Qq.com
5	Baidu.com	10	Taobao.com

Social media are media for social interaction, using highly accessible and scalable communication techniques. It is the use of web-based and mobile technologies to turn communication into interactive dialogue.

一般来讲，社交媒体可以分为如表 1.2所示的几种类型：

表 1.2 社交媒体的类型

类型	代表性网站
Wiki	Wikipedia, Scholarpedia
Blogging	Blogger, LiveJournal, WordPress, 博客
Social News	Digg, Mixx, Slashdot
Micro Blogging	Twitter, Google Buzz
Opinion & Reviews	ePinions, Yelp
Question Answering	Yahoo! Answers, 百度知道
Media Sharing	Flickr, Youtube
Social Bookmarking	Delicious, CiteULike
Social Networking	Facebook, LinkedIn, MySpace

从表中可以看出，社交媒体有多中不同类型，因此会产生多种不同格式的数据，包括文本、图像以及视频等。Kaplan 和 Haenlein^[1] 从数据和信息流动角度讨论了社交媒体。首先从媒体部分 (media)，社交媒体中最突出的方面是它区别于电视，广播和报纸等传统媒体。在传统媒体中，信息的流动是从几个内容生产者到众多用户消费者。在社交媒体中，内容产生的权利转移到了传统媒体的消费者的手中，而且信息流动的方式更加不确定。内容消费者和生产者可以多次在瞬间改变自己的角色。另外，为什么我们称这种新媒体为社会化的 (social) 媒体。社会化意味着信息内容不只是由个体用户产生，更是与其他用户的协作产生。因此内容 (content) 变得更加多样化，因为社交媒体不只是用来产生和传播的内容，也为用户互相通信交流提供了便利。社交媒体中的用户产生内容 (UGC, User-Generated Content) 数据具有以下特点^[2]：

- **数量巨大 (big)**：社交媒体中每个用户产生的数据可能是小的，但是数量巨大的用户群体以及社会化特性将用户的数据链接在一起产生了一种新形式的大数据。比如平均每天有超过 300 万条的微博 (tweets) 发布到 Twitter，每分钟有超过 3000 张照片上传到 Flickr，每年有超过 160 多万的博客 (blogs) 发表。
- **广泛链接 (linked)**：社交媒体的社会化特性使得社交媒体的数据天生就是广泛链接的。比如用户产生的内容往往由于用户之间的各种社交关系链接在一起。这种链接的数据显然不是独立同分布的 (IID, independent and identically distributed)，与传统的数据挖掘和机器学习提出的基本假设相违背^[3, 4]。
- **充满噪声 (noisy)**：社交媒体中普通用户作为内容消费者和产生者常常使得社交媒体的数据质量参差不齐，充满噪声^[7]。并且不仅如此，社交媒体中的网络结构也是充满噪声的，一是存在这一些传播虚假和无用信息的用户^[5]，二是建立关系的方便性使得各种社会关系混杂在一起，比如好朋友和一般认识人^[6]。
- **非结构化 (Unstructured)**：社交媒体中用户产生的数据一般是高度非结构化的。尤其是随着移动互联方式的普及与越来越多的用户使用移动设备更新 Facebook 的状态，发送微博，或者回复别人的帖子，这不但导致了文本内容短小，而且错误拼写频繁出现^[7]。还有一些非自然语言的广泛使用，比如表情符 (:), :() 和缩写 (h r u?) 等^[8]。
- **不完整性 (Incomplete)**：为了用户的隐私保护，社交媒体平台一般允许用户将其一些个人数据进行隐藏不被他人看到，这些数据包括个人信息，状态更新，朋友列表，发布的视频和照片以及与他人的信息交流等。比如 Facebook 仅有很少部分用户 (小于 1%) 公开了他们的个人数据^[9]。因此社交媒体的数据是极度不完整和稀疏的。

社交媒体的迅速普及与壮大，使得它在政治、经济、教育、社会等多方面发挥着越来越重要的作用。就如社会会随着网络而演化，无论对个人还是商业组织，社交媒体数据也逐渐变得越来越重要。Web 2.0 时代的到来，更是由于广泛的用户参与而使得用户产生内容 (user-generated content (UGC)) 成指数级的爆炸式增长，并且更庞大和复杂。目前常见的社交媒体数据应用有：一是基于用户个人信息、行为、位置、微博等数据而进行的个性化推荐、交叉推荐、品牌监测等营销类大数据应用，被互联网广告、电子商务、微博、视频、相亲等公司普遍采用。第二，公共服务类大数据应用，即不以盈利为目的、侧重于为社会公众提供服务的大数据

应用。典型案例如谷歌开发的流感、登革热等流行病预测应用能够比官方机构提前一周发现疫情爆发状况。国内也有搜索引擎公司提供诸如春运客流分析、失踪儿童搜寻的公益大数据服务。三是积极借助外部数据，主要是互联网数据，来实现相关应用。例如，金融机构通过收集互联网用户的微博数据、社交数据、历史交易数据来评估用户的信用等级；证券分析机构通过整合新闻、股票论坛、公司公告、行业研究报告、交易数据、行情数据、报单数据等，试图分析和挖掘各种事件和因素对股市和股票价格走向的影响；监管机构将社交数据、网络新闻数据、网页数据等与监管机构的数据库对接，通过比对结果进行风险提示，提醒监管机构及时采取行动；零售企业通过互联网用户数据分析商品销售趋势、用户偏好等等。

一些服务商拥有海量用户数据的大型互联网企业以自有社交媒体大数据资源为支撑，以 SaaS 形式为用户提供服务。典型的服务如谷歌和 Facebook 的自助式广告下单服务系统、Twitter 基于实时搜索数据的产品满意度分析等。国内百度推出的大数据营销服务“司南”就属于此类。同时，政府也是社交媒体数据的积极使用者，2013 年曝光的棱镜门事件显示出美国国家安全部门在使用社交媒体数据应用的强大实力，其应用范围之广、水平之高、规模之大都远远超过人们的想象。2012-2013 年间美国国家安全局 (NSA)、联邦调查局 (FBI) 及中央情报局 (CIA) 等联邦政府机构大量使用 Facebook, Google, Twitter 等公司的数据对全球进行监控引起全世界的关注。白宫 2014 年 5 月发布的《大数据：抓住机遇，守护价值》报告中重点提及了社交媒体的影响⁴。社交媒体大行其道的今天，自然也会成为品牌营销的手段之一。今年世界杯的主要赞助商之一可口可乐就首次尝试 iBeacon 在世界杯营销中的运用。为此，可口可乐挑选了粉丝在 Facebook 和 Twitter 上分享的照片，印制在足球场大小的旗帜上，并将在开幕式上展示。百威在圣保罗开设了社交媒体工作室。该工作室将从不同国家挑选“影响力人物”制作视频，并发布至网上。

1.1.2 主观性信息

语言学家 Lyons^[10] 将语言功能分为描述 (descriptive) 的, 社交 (social) 的和表达 (expressive) 的。其中描述功能主要表达客观事实信息 (factual information), 而社交和表达功能往往表达的是主观性的信息 (subjective information)。主观性信息, 也可以称为观点, 是人们在语言中表达对于谈论的目标事物的态度、情感或者看法^[11]。观点常常简化为人对目标的同意或不同意 (或者认为目标好或者坏, 或持正面 (positive) 态度还是负面 (negative) 态度) ^[12]。

⁴来源: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/big_data_privacy_report_may_1_2014.pdf

实际上,别人是怎么想的(或者大众观点)在各种决策过程中是必不可少的信息。比如在商业领域,消费者在选择产品的时候常常需要知道其他人的对这些产品的观点,而商家为了市场营销也常常需要知道这些观点。在政治领域,投票者受到其他人关于候选人的观点的影响,同时,大众的观点也会影响到政策制定者的决策。以往为了获取大众观点,需要进行问卷调查。社会化网络的出现(Social Web),为人们提供了新的内容共享服务,使百万计连接到全球资讯网(World Wide Web)的人能够在时间和代价上更高效的方式创建和共享自己的内容,思想和观点。现在大家可以在各种社交媒体发表和表达自己观点:比如消费者可以在 Amazon⁵, Yelp⁶, 以及 TripAdvisor⁷上发表各种商品和服务的评论;用户可以在 Twitter⁸和 Facebook⁹上对最新话题表达自己的观点。社交媒体上巨大的用户群以及由他们产生的海量信息成为了发现人们对各种话题所持观点的宝贵资源。随着社交媒体用户产生内容的增多,人工地去发现和总结这些主观性信息是低效和难以全面的,因此需要计算机能够自动对这类主观信息进行分析 and 挖掘,于是文本的情感分析(sentiment analysis, 或者称为观点挖掘, opinion mining) 技术应运而生。情感分析技术^[13] 是对带文本中有情感色彩的主观性信息进行分析、处理、归纳和推理的过程,其目标是自动发现和区分对某目标的情感和观点,目标可以是命名实体、也可以是话题或事件。近年来,情感分析(观点挖掘)研究逐渐发展成为介于自然语言处理(Natural Language Processing (NLP)) 与自然语言理解(natural language understanding(NLU)) 之间的一个独立领域。不像其他的自然语言处理任务(文摘或文本分类),观点挖掘主要处理与自然语言概念相关的语义信息和情感信息的推理而不需要对给定文本的深度分析^[14]。

在进行情感分析时, Liu^[15] 将观点形式化定义为观点五元组 $(e_i, a_{ij}, s_{ijkl}, h_k, t_l)$ 。其中, e_i 是目标名称, a_{ij} 是目标的不同属性(方面, aspect), h_k 是持有观点的用户, t_l 表示时间, s_{ijkl} 是观点的情感值。Kim 和 Hovy 也对观点做了定义^[16]: 由四个元素组成: 即主题 (Topic)、持有者 (Holder)、陈述 (Claim)、情感 (Sentiment)。

目前的研究通常把情感分成两类(即正面和负面)。其中正面类别是指文本表达积极的态度,而负面类别是指文本表达消极的态度。文本情感分类目前被广泛应用于电影评论、产品与服务评价、产品推荐、舆情分析、信息过滤、智能化搜索等方面。上一部分描述了社交媒体内容的特点,由于社交媒体语言的这些特性,

⁵www.amazon.com

⁶www.yelp.com

⁷www.tripadvisor.com

⁸www.twitter.com

⁹www.facebook.com

使得观点挖掘的研究遇到了一些挑战，通常需要用到模式识别、信息检索、机器学习、统计学、自然语言处理等多学科的交叉知识进行解决。

情感分析有别于传统的话题分类。话题分类关心的是文本所阐述的话题，如文档是属于教育类还是娱乐类的，而情感分析主要用来识别文档中表达的观点、喜好、立场和态度等主观信息，需要理解词汇的含义，词性，甚至句法和篇章结构等信息。在传统的话题分类中，主题词是最重要的特征，而在情感分析中，情感词是最重要的特征。情感分析涉及语言学领域的诸多问题，由于语言的复杂性和多样性，情感分析需要面临以下几个问题：

1. **领域相关性：**某些情感词在不同的领域中具有不同的情感倾向，比如：“轻薄”在通常意义下具有负面的情感倾向，如“举止轻薄”，而在电脑领域，“轻薄”却表示褒义。
2. **语境依赖性：**某些词语具有多个词性，并且不同的词性常常呈现出不同的情感倾向。比如“这款空调经济耐用”和“经济呈现快速发展”在这两句话中，“经济”具有不同的词性和情感倾向，前者是形容词，具有正面的情感倾向，后者是名词，不具有情感倾向。
3. **上下文相关性：**语言中有许多词语本身是不具有情感倾向的，但是在特定的上下文环境中，语言描述便具有了情感倾向。比如：“小”、“高”、“快”等词语，在搭配组合“损失小”、“成绩高”、“进步快”中，具有正面的情感倾向，但在搭配组合“心眼小”、“耗油高”、“耗电快”中，则具有负面的情感倾向。

情感词典，是人们在表达观点时常用的一些词语，是主观性信息的最明显的证据（比如“好”）。无论对无监督还是监督方法，因此一部好的情感词典是从文本信息中发现主观信息的重要特征。近年来从网络数据中发现主观性信息变得越来越重要，能够获得大家对一些事物、人或事件的主观性态度比仅仅只有百科式描述更重要，比如对产品的问卷调查，政治选举的民调以及商业广告效果分析等。因此很多研究者开始注意到这种信息需求，并试图从网络数据中挖掘并分析主观性信息。然而大多数工作主要关注与于本中情感倾向的总体以及详细的分析，并且仅仅是对某些特定领域的文本数据，比如产品评论或博客，并不适用于其他类型数据。随着社交媒体的普及，用户可以更方便地发表与自己有关的信息，比如自己的生活和对周围食物的观点，这些越来越多的用户产生数据使得主观性信息的挖掘和分析变得更重要。受到这种趋势和研究需求的影响，TREC 评测¹⁰从 2006 年开始就有关于从网络信息中挖掘观点的评测，并且受到很多自然语言处理研究

¹⁰<http://www.trec.state.tx.us/>

人员的关注。判断一片文档是否有主观性信息最简单直观的方式就是看看是否含有主观性词语，这种基于词语的判断方式的基本假设就是文档中含有主观性词语通常是表达作者的主观观点，比如在商品评论中出现“喜欢”通常表示作者喜欢这个商品。因此很多研究者研究了一些通过人工或自动方式产生带有主观情感倾向的词典。主要有两种类型的网络上的信息（即，事实和观点）。然而，目前的搜索引擎（如谷歌），都是为了表达同主题关键字的事实。Wiebie^[17]将带有个人心理视角的文本称为主观性信息，相对于客观地叙述事件或描述虚构世界的文本。Dave等^[18]提出了观点挖掘作为从网络数据中发现主观性信息的研究。观点是所有人类活动的中心因为观点是我们行为的关键影响因素，我们对现实世界的感知和看法是建立在他人的怎么看这个世界的基础上的，当我们做决策之前通常会寻求其他人的观点。随着社交媒体的出现并流行（评论，论坛，博客，微博，评论，以及在社交网络中的帖子等），带有主观性信息的数据爆炸式增长，因此我们对观点信息的获取不再需要靠传统的问卷调查等手段。然而发现并综合各种社交媒体中观点信息并不是意见容易的事，因为数据量非常大之外，人工阅读并发现主观性信息是不可能的，因此需要自动观点挖掘技术。近年来，在社会化媒体带有主观性信息的帖子在我们的现实生活中帮助重塑了企业，并左右公众的情绪和情感，这对我们的社会和政治制度深刻影响。这样的帖子对于鼓动群体运动引起政局变化具有很大作用，比如2011年发生在一些阿拉伯国家的阿拉伯之春运动。因此收集和研究的网络上的意见成为一种必然。情感分析应用已经普及到几乎所有可能的领域，从消费产品，服务，医疗保健和金融服务等社会活动和政治选举。除了现实生活中的应用，很多应用为导向的研究论文也已发表。例如，情感信息可以预测产品的销售量^[19]，电影的票房^[20-23]，股市走向^[24, 25]，政治选举的结果^[26-30]等等。尽管语言学和自然语言处理已经有很长的研究历史，但是直到2000年才开始进行观点挖掘和情感分析等主观性信息研究。从那以后，该研究成为了非常活跃的研究领域。原因主要有：一是具有广泛的应用领域，二是提供了很多以前从未遇到的具有挑战性的问题，本文将系统的定义和讨论这些问题，并描述目前一些主流的解决方法；三是由于社交媒体的出现，我们第一次拥有了海量的具有主观信息的数据，如果没有这些数据，主观性信息研究是不可能的。毫不奇怪，情感分析的开始和快速增长与社会媒体是一致。事实上，情感分析正处在在社交媒体研究中心。因此，情感分析研究不仅对NLP有着重要的影响，而且还可能对管理学，政治学，经济学和社会科学产生了深远影响，因为它们都受到人的主观性的影响。

1.2 研究问题

随着以 Twitter, Facebook、新浪微博为代表的社交媒体迅速发展,如何帮助人们利用平台更好地交流,并且在这些社交媒体中发现有意义的信息变得越来越重要。而信息检索技术是满足以上需求的重要手段。信息检索是在文档集合中,找到与给定话题相关的客观文本或主观文本。它能够帮助人们在海量的社交媒体信息中,快速找到相关内容,帮助有意义的信息发现,以此满足人们的需求,方便人际之间的交流。另外,以 Twitter 为代表的社交媒体的一个显著特点,就是信息的传播性。人们通过转发分享新闻与观点,加速信息的流动、扩大信息传播的范围。另外, Twitter 中已有的研究发现,转发的信息往往意味着高质量的信息^[31],这是基于人们在 Twitter 传播行为上的一个基本假设:当人们认为一个 tweet 非常重要且值得和大家分享此信息时,他们将通过转发传播这个 tweet。因此研究社交媒体中信息传播的内在规律变得十分重要,且可以帮助在 Twitter 中检索高质量的信息。

但是 Twitter 中的信息检索与传播分析任务也存在着挑战。由于 Twitter 客户端使用的多样性,如大量使用移动平台,以及 tweet 文本本身 140 个字符的限制,造成 tweet 文本与其他文本(如新闻)编辑质量与风格的巨大差异。同时移动平台的广泛使用,使得 Twitter 中信息传播速度更快,范围更广。再加上 Twitter 用户参与的低门槛性,使得信息在 Twitter 中的传播不像以往媒体(如报纸)的新闻传播,会对信息的正确性进行层层验证,这就造成了 Twitter 中信息传播的随意性,使得信息的质量难以保证。因此本文主要从两个科学问题来思考与研究 Twitter,以此帮助 Twitter 中的信息检索与传播分析:

1. 人们在 Twitter 中如何用自然语言描述话题和表达观点?
2. 以 Twitter 为代表的社交媒体有何新特点?如何利用这些特点帮助获取信息和对信息进行传播分析?

第一个问题的研究主要是从自然语言处理的角度分析人们在社交媒体上如何组织语言来描述客观话题和表达主观观点。显然 Twitter 参与的低门槛特点使得大量的用户参与其中,由于参与者编辑文本的水平参差不齐,编辑的内容与目的也多种多样,另外,再加上 tweet 本身的字符限制都使得 Twitter 中的文本呈现低质量、噪音大的短文本特点,这给传统的以正式文本(如新闻)为处理对象的自然语言处理技术带来了挑战。因此深入地研究 Twitter 文本的特点,对于解决 Twitter 中的信息检索与传播分析任务变得十分重要,并且分析 Twitter 中文本的特点也能够帮助其他以语言为基础的 Twitter 应用,如 Twitter 中的事件发现、观点挖掘等等。

第二个问题的研究主要是分析 Twitter 作为新型媒体的特点，从中发现一些规律和有价值的信息帮助 Twitter 中信息检索与传播分析问题的解决。显然 Twitter 中无论是 tweet 本身还是 tweet 的用户都呈现了一些新的特点。比如，tweet 中包含 hashtag，以此可以作为 tweet 的内容主题。tweet 中也包含大量的链接，这些链接与 tweet 中描述链接的文本存在什么样的关系？另外，每个 tweet 都有作者，Twitter 的一个显著特点就是用户信息的公开化，包括用户的朋友关系，发布信息的历史，个人的属性信息等，如何发现这些用户信息的普遍规律与内在价值，以此帮助 Twitter 中的信息检索与传播分析任务是本文研究的主要问题，当然社交媒体的新特点研究同样也能帮助 Twitter 中其他任务的解决，如用户推荐等。

1.3 相关研究

无论是 Twitter 中的信息检索还是传播分析，对 tweet 文本的理解都是其中一个重要的环节。但是 tweet 文本的短小与大量的噪音文本（存在着许多缩写词、错别字等等）都造成自然语言处理技术在 Twitter 上的应用存在着新的挑战，我们在本节将介绍自然语言处理技术在 tweet 文本处理上的相关工作。另外，Twitter 上信息检索的研究也离不开以往传统信息检索技术的借鉴与应用，我们主要利用 tweet 的文本特征与社交媒体的特征帮助 Twitter 中的信息检索，而这些特征如何有效地整合到检索模型中是需要考虑的问题，因此本节将详细介绍基于机器学习的信息检索技术。最后本节还将介绍已有的 Twitter 中的传播分析工作，以此为本文具体的传播分析任务的解决提供帮助。

这里要强调的是，本文的相关工作分析主要从整体相关工作和局部相关工作进行阐述。本章的相关研究主要介绍的是整体的相关工作，因为这些研究成果可以为本文所研究的具体任务提供思想借鉴和技术支持。以后各个章节中的相关工作则会具体地分析已有的类似工作，以及研究成果。

我们从整体上介绍了三个相关研究，包括 Twitter 与自然语言处理（见 1.3.1），主要介绍目前已有的自然语言处理技术在 Twitter 中的研究成果，以此帮助本文的关于 tweet 的文本分析；信息检索与机器学习（见 1.3.2），主要介绍目前机器学习技术在信息检索中的应用，以此为解决本文的具体 Twitter 信息检索和传播分析任务提供问题解决框架；Twitter 中的传播分析（见 1.3.3），主要介绍目前已有的关于 Twitter 转发的研究成果，为本文 Twitter 传播分析的具体任务提供借鉴。

1.3.1 Twitter 与自然语言处理

随着以 Twitter 为代表的社交媒体的广泛使用，自然语言处理技术在 Twitter 的文本处理中得到广泛应用，但是研究者发现 Twitter 的文本明显区别于以往的很

多文本类型。Eisenstein 将这种文本类型称为坏语言 (*bad language*)：文本“无视”我们以前期望的词汇、拼写和语法^[2]。

研究人员发现最先进的自然语言处理技术在 Twitter 的文本应用中都显著差于其他文本。在自动地词性标注测试中，Stanford tagger 在 Wall Street Journal 语料上的正确率可以达到 97%^[32]，而 tweet 的文本处理仅仅只有 85%^[33, 34]。利用 CoNLL 数据训练的 Stanford 命名实体识别器，对 CoNLL 测试语料进行实体识别，F1 值可以达到 86%^[35]，而在 Twitter 的文本中仅仅只有 44% 的 F1 值^[36]。另外，Foster 等人也对语法分析效果进行分析，发现最先进的语法分析器在 Twitter 的文本应用中，正确率下降约 15%^[37]。

为了解决自然语言处理技术在 Twitter 中所遇到的挑战，研究人员主要从两个方面进行了相关研究：

1. **文本的正常化 (Normalization)**，即把坏语言变成好的语言，以其适合于传统文本的自然语言处理技术。Han 和 Baldwin 开发了一个分类器，能够识别“非正常 (ill-formed)”的词，然后利用基于形态音位 (morphophonemic) 相似的方法将其转换为正确的词^[38, 39]，Han 等人还提出了一种构造词典的方法，简单替换词的变形（例如 tomorrow 替换 tmrw），这种方法结合词语的上下文评估各种变换的可能性^[40]，但 Liu 等人提出一种没有明确分类的方法，进行词的正常化^[41]。另外，Liu 等人提出了一种基于图模型的方法同时解决 tweet 中命名实体识别和 tweet 文本正常化的方法^[42]。Liu 等人设计一个正常化认知驱动系统解决 Twitter 中文本的正常化问题^[43]，该系统整合人们对于“非正常 (ill-formed)”词的各种认知角度，包括字符转换、视觉感知、字符串和语音相似等等。最近 Hany 和 Menezes 提出了一种无监督学习的方法对 Twitter 中的文本进行正常化，他们在大量 tweet 文本中构造 n 元词串，以此构造语境相似的二部图，然后利用 Random Walks 算法发现“非正常 (ill-formed)”词与正常词的对应关系^[44]。以上所有的方法都在一定程度上解决了 Twitter 中文本正常化的问题。

2. **领域化 (Domain adaptation)** 与其让 Twitter 的文本适应以前的自然语言处理技术，不如改变这些技术适应 Twitter 文本。一系列的工作从领域化的角度出发进行了相关研究。这些工作包括适合 Twitter 文本的自动词性标注器^[33, 34]，自动命名实体识别的方法^[36, 42, 45-49]，语法分析器^[37]，对话模型^[50]，自动摘要^[51-59] 等等。这些工作采用各种方法，使其能够很好地适应 Twitter 文本的特点，具体为：

预处理 (preprocessing) 减少词语中某些重复的字符 (经常有些词用重复的字符表达感情^[60]), 去掉 hashtag、链接、提交 (@username) 等等;

标注新数据 (new labeled data) 根据任务在 Twitter 中标注部分数据^[36, 45], 以此进行有监督学习;

自定义标注标准 (new annotation schemes) 定义适合 Twitter 的标注标注, 如词性标注中对 hashtag、链接、提交 (@username) 等定制特定的标注类型^[33, 34];

“远端”监督 (distant supervision) 通过一定的规则, 构造大量粗糙的训练数据帮助 Twitter 的文本机器学习模型训练, 然后应用到具体的任务中^[36]。

毫无疑问, tweet 文本的特殊性使得传统自然语言技术在 Twitter 上的应用充满挑战, 我们将利用以上所涉及到的方法、思想或已有的开发工具, 按照信息检索任务和传播分析任务的具体需求, 设计对应的 tweet 文本自然语言处理方法, 开发有效的文本特征, 提高 Twitter 中的信息检索效果与传播分析的准确性。

1.3.2 信息检索与机器学习

Twitter 中的信息检索是本文的一个重要研究任务, 由于 tweet 文本的特点和丰富的社交媒体属性使得 Twitter 中的信息检索不同于以往的信息检索任务 (如图书馆文档检索)。在 Twitter 检索任务中需要考虑因素很多, 如 tweet 用户的信息等。传统的检索模型在构造排序函数的时候往往只需要考虑不多的因素, 如查询词在文档的频率、位置等, 因此可以手工构造这些函数对文档排序, 但是 Twitter 中的检索需要考虑的因素相当多, 造成手工构造排序函数变得复杂, 但是基于机器学习的排序模型可以通过训练数据自动构造排序函数, 因此这里我们详细介绍基于机器学习的信息检索模型。

信息检索与机器学习领域有很多研究的重叠, 上世纪 60 年代提出的相关反馈就是一个简单的机器学习算法, 它构建一个分类器区分相关文档和非相关文档, 以此作为用户关于初始排序中文档重要性的反馈^[61]。到了 80、90 年代, 研究人员开始使用机器学习方法来基于用户反馈学习排序算法。但是, 许多机器学习算法在信息检索上的应用都受到训练数据规模较小的影响, 如果系统要对每个查询构造分类器, 基本上是不现实的。

但进入 21 世纪, 随着网络搜索引擎的出现, 从用户交互中积累了海量的查询日志, 潜在的训练数据的规模非常庞大。借此基于点击流数据的排序学习算法被提出^[62-69]。由于对于每个查询中文档的相关性判断非常稀疏, 但是有一定数量文档在网络搜索引擎的检索返回结果中被用户点击浏览, 这些行为可以隐性地认为

是用户对文档相关性的判定。例如，如果一个用户在一个查询的排序中点击了第三个文档而不是前面两个，那么可以假设第三个文档应该在下次排序中获得较高的排序位置。

在排序学习模型中，最著名的排序函数莫过于基于支持向量机（SVM）的方法，通常被称为 **Ranking SVM**。它的输入是针对一组查询的偏序排序信息的训练集合：

$$(q_1, r_1), (q_2, r_2), \dots, (q_n, r_n)$$

其中 q_i 是一个查询， r_i 是所需排序的文档关于查询的部分排序信息或相关性级别。这意味着如果文档 d_a 应该比 d_b 排序更高，那么 $(d_a, d_b) \in r_i$ 。这些排序信息可以通过点击流数据获得，然后训练排序模型。相关的研究从排序学习的数据^[70-73]、排序学习模型^[74-77] 和评估学习效果^[78-82] 三个方面展开。

本文将主要采取基于排序学习的机器学习算法，针对 **Twitter** 信息检索的具体问题，将 **tweet** 文本分析的结果和 **Twitter** 社交媒体的新特点转换成特征，整合到机器学习的模型框架中，帮助 **Twitter** 中各项检索任务的解决。

1.3.3 Twitter 中的传播分析

Twitter 中一个重要的机制就是转发，即重新发布其他人发布过的 **tweet**。这种简单的机制可以使得作者的全部粉丝看到转发的信息，使得信息迅速、广泛的传播。我们本节将介绍 **Twitter** 中已有的对于转发行为的研究，以此分析涉及影响转发行为的因素，包括 **tweet** 的文本内容与转发的关系，用户的属性如何决定其他人的转发；**Twitter** 中信息的一般传播路径与规律。这些研究成果可以帮助本文具体的传播分析任务。

boyd 等人¹¹研究了 **Twitter** 中转发的各种类型以及转发的原因，他们分析了不同用户，用户属性，用户交流方式对于转发的影响，同时也分析了人们在 **Twitter** 中喜欢转发的内容^[83]。他们发现 18% 的转发 **tweet** 包含 **hashtag**，52% 的转发 **tweet** 包含链接，11% 的转发 **tweet** 包含连续的转发符号串（如，“RT @user1 RT @user2”），另外，9% 的转发 **tweet** 都包含回复原 **tweet** 作者的回复字符串（“@reply”）。这说明 **tweet** 文本中的 **hashtag**，链接、回复、提交和转发符号都与 **tweet** 的转发存在着一定的对应关系。

Yang 和 Counts 通过 **Twitter** 中的提及（“@username”）抽取了用户之间的关系，并在此基础上构造了用户关系的复杂网络。他们研究了信息在这个复杂网络上是如何传播的，包括信息传播的速度，规模，以及范围^[84]。他们发现大约只有

¹¹Danah Boyd 因为家庭的原因一般使用小写拼写姓名，这里并不是拼写错误。

25% 的 tweet 是被信息作者的朋友转发，大部分是被粉丝但非朋友转发。这说明 Twitter 中用户形成的复杂网络，影响着人们的转发行为，因此信息在传播路径上具有一定的规律可循。

Macskassy 和 Michelson 分析了一个月用户的 Twitter 数据，他们解释了各种信息传播的方式，尤其是转发的行为模式，他们发现 tweet 的内容是 tweet 被转发的决定因素，因此他们构建了基于内容的转发模型^[91]。

Starbird 等人对具体事件在 Twitter 上的传播进行了深入研究，他们分析了 2011 年埃及的政治事件，演示了这个事件的相关信息在 Twitter 上是如何生成，发展，传播的^[85]。

Comarella 等人研究了影响用户回复或转发的因素，他们发现以前是否回复，发布信息的频率，信息的时效性，tweet 的长度决定用户是否回复^[86]。

除了以上的工作，最新的研究还从不同角度对 Twitter 中的转发行为进行了深入的研究^[87-90]。

综上所述，我们发现影响人们转发行为的因素主要包括 tweet 文本的内容、tweet 文本的社交媒体属性（如，是否包含链接、hashtag、提及等）、tweet 作者的用户属性，tweet 作者的朋友圈子，当然以上的研究都是从宏观上大规模分析 Twitter 转发数据得出的研究结论。从微观的角度则可以考虑给定一个 tweet，未来这个 tweet 是否会被转发，我们将在 ?? 介绍相关工作。

虽然已有的 Twitter 转发研究从许多不同的角度进行了考虑，但是仍然有许多问题与因素被忽视，例如 tweet 的转发预测针对的一般是普遍 tweet，并未细粒度的划分类型，本文我们将针对特定类型 tweet 进行转发研究。另外，目前的转发大多都是从 tweet 本身进行考虑，并未从受众的角度进行分析，本文将对 tweet，作者、受众三个方面在转发过程中的相互关系进行探讨。

1.4 研究内容与方法

1.4.1 本文研究内容

本文的研究内容主要是围绕在给定话题的情况下，如何在 Twitter 中找到与话题相关的主客观 tweet。主要利用 tweet 文本特点和社交媒体属性帮助 Twitter 中的信息检索。本文中 Twitter 的传播分析主要是从内容和受众两个方面进行考虑，如何在 Twitter 中发现会传播的观点和如何在 Twitter 中发现信息的传播者。同样也通过分析 tweet 文本特点和社交媒体特点帮助这两个问题的解决。参见图1.2本文研究框架。

具体四个研究内容的定义如下：

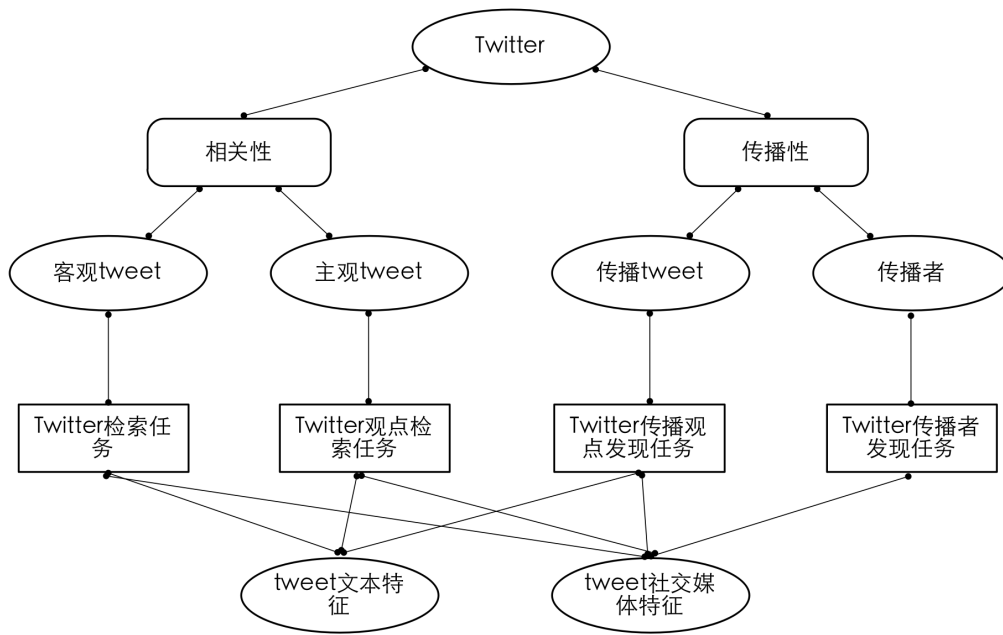


图 1.2 本文研究框架

1. **Twitter 检索**: 给定关键词, 在 Twitter 中找到话题相关的 tweet。通过文本的结构化信息 (我们发现 tweet 文本呈现结构化特点) 和社交媒体信息帮助提高 Twitter 检索, 以此分析了人们在 Twitter 中是如何描述话题以及社交媒体特征与相关话题 tweet 的内在联系。
2. **Twitter 观点检索**: 给定关键词, 在 Twitter 中找到话题相关且带观点的 tweet。通过 tweet 观点化信息 (基于结构化信息) 和社交媒体信息帮助提高 Twitter 观点检索, 以此分析了人们在 Twitter 中是如何表达观点以及社交媒体特征与 Twitter 中观点的内在联系。
3. **Twitter 传播观点发现**: 给定关键词, 在 Twitter 中找到话题相关且带观点的 tweet, 并且这个 tweet 在未来会被转发。通过 tweet 观点化信息 (基于结构化信息) 和社交媒体信息帮助发现 Twitter 中传播观点, 以此分析了人们在 Twitter 中是如何表达高质量的观点以及社交媒体特征与 Twitter 中传播观点的内在联系。
4. **Twitter 传播观者发现**: 给定 tweet, 发现 tweet 的粉丝中, 谁会在未来传播这个 tweet。通过社交媒体信息帮助发现 Twitter 中的信息传播者, 以此分析了社交媒体特征与 Twitter 信息传播者的内在联系。

总的来说, 针对 1.2 的第一个问题, 本文通过分析 tweet 文本的结构化信息和观点表达方式, 找出规律与特点, 将其利用到 Twitter 检索、观点检索、传播观点

发现任务。针对 1.2 的第二个问题，本文通过分析社交媒体的用户属性、社会网络结构、文本属性，发现用户之间、用户与 tweet 文本（主客观信息）、用户与传播行为、tweet 文本与传播行为之间的内在联系，通过开发社交媒体特征，帮助解决 Twitter 检索、观点检索、传播观点发现和信息传播者发现任务。

1.4.2 本文研究方法

针对以上研究内容，本文基于自然语言处理技术和机器学习技术，深入分析 Twitter 中 tweet 的文本特点和社交媒体属性，解决 Twitter 中若干检索与传播分析问题。我们希望通过在 Twitter 中若干检索与传播分析问题的研究达到如下几个主要目标：

1. 认识以 Twitter 为代表的社交媒体的新特点，包括文本表现形式，用户属性，Twitter 中信息的传播行为等等。
2. 传统的信息检索技术如何在新型的社交媒体中使用，重点研究基于机器学习的信息检索技术在 Twitter 中的应用。
3. 深入研究 Twitter 中观点检索问题，寻找人们在 Twitter 中表达观点的方式，以及其它相关因素。
4. 针对 Twitter 中 tweet 文本质量较低，以及质量评价问题，帮助人们进一步理解 Twitter 中高质量文本的评价问题。
5. 通过研究特定用户查询问题，找到 Twitter 中 tweet、作者和粉丝之间的关系，帮助 Twitter 中传播分析的研究。

根据各个具体的研究内容，我们的具体研究方法为：

1. 针对 Twitter 中的信息检索问题，我们深入分析 tweet 中的文本特点，找到文本特定结构与社会属性之间的关系，开发文本结构特征，然后结合 tweet 的社交媒体特征（用户属性等），将其整合到机器学习的框架中，通过排序学习，提高 Twitter 中信息检索的效果。
2. 针对 Twitter 中的观点检索问题，首先对 Twitter 中的观点检索问题进行定义，构造测试数据集，然后分析 Twitter 中用户表达观点的文本特点以及 Twitter 中观点所对应的潜在用户属性，开发特征，利用排序学习，解决 Twitter 中如何找到观点的问题。

3. 针对 Twitter 观点检索中大量返回低质量观点的问题, 从发现传播观点的角度提出了 Twitter 中高质量观点的客观评价指标, 这个指标利用 Twitter 中高质量信息大量传播的特点, 分析了 Twitter 传播观点发现的问题, 利用 tweet 中如何判定是否转发的方法, tweet 中文本是否包含观点以及 tweet 文本本身的语言质量帮助相关任务的解决。
4. 针对 Twitter 中信息传播者发现的问题, 我们首先进行问题定义, 构造数据集, 分析信息传播者的特点, 找到信息传播者与转发 tweet、转发 tweet 作者之间的联系, 设计相关特征, 将其利用到机器学习框架中, 解决信息传播者发现的问题。

1.5 本文主要贡献

本文主要围绕分析 Twitter 文本的特点与 Twitter 社交媒体属性展开, 通过 Twitter 中的信息检索和传播分析任务, 发现哪些因素能够帮助或影响检索效果的提高与传播分析的准确性。

在 tweet 文本分析方面, 我们发现, 虽然 tweet 是短文本, 但是它具有结构化的特点。不同的 tweet 文本结构对应不同的属性和文本质量, 通过挖掘 tweet 的文本结构信息能够帮助 Twitter 的信息检索。另外由于某些特定结构的 tweet 具有某种属性 (如主观化), 因此可以利用结构化的 tweet 收集大量的相关文本, 构造情感词典帮助 tweet 主观化判定, 提高观点检索的效果。

在 Twitter 社交媒体属性的分析方面, 我们通过对 tweet 中是否包含链接、hashtag、提及等的研究, 确定这些符号串或功能与 Twitter 信息检索的对应关系, 因此帮助该任务的解决。我们还分析了 tweet 作者的属性, 包括作者的粉丝数目、朋友数目、分组数目、兴趣爱好、圈子、活跃时间等等, 试图发现这些因素与 Twitter 信息传播之间的内在联系。

在具体的 Twitter 信息检索任务中, 我们从给定关键词找到主客观相关 tweet 的两个方面进行研究。获取客观 tweet 方面, 我们开发了 tweet 文本的结构化特征和社交媒体特征, 将其整合到基于排序学习的模型中, 实验结果验证了我们的方法是有效的。获取主观 tweet 即 Twitter 中的观点检索是一个全新的工作, 我们定义了这个任务, 发布了关于研究这个问题的实验数据¹², 截止到 2013 年 9 月这个实验数据已经有 40 多个国家和地区超过 200 多个研究单位和个人下载, 并且这个数据还被 ICWSM 会议推荐为官方的社交媒体研究数据¹³, 针对 Twitter 中的观点

¹²下载地址: <http://sourceforge.net/p/ortwitter/wiki/Home/>

¹³<http://www.icwsml.org/2013/datasets/datasets/>

检索我们也提出了我们的方法，主要是开发 **tweet** 的文本特征与社交媒体特征结合排序学习框架进行解决，同时我们也提出了一种基于无监督学习的 **tweet** 观点评价的方法，目前有许多其它研究单位的工作围绕我们的 **Twitter** 观点检索工作展开^[91-94]。

在具体的 **Twitter** 传播分析任务中，我们从传播的内容和受众两个方面进行考虑，提出了 **Twitter** 中传播观点发现的新任务和信息传播者发现的新任务。**Twitter** 中传播观点发现可以帮助我们解决 **tweet** 质量评价主观化的问题，由于以往的研究主要是围绕给定 **tweet**，预测该 **tweet** 在未来是否会被转发，我们对这个问题进行了细粒度的研究，从观点化的 **tweet** 能否被转发的角度进行了探讨，通过开发 **tweet** 的文本特征和社交媒体特征解决传播观点发现的问题。**Twitter** 信息传播者发现的问题，针对的是以往研究忽视“谁”会转发的问題，我们定义了这个问題，提出了解决这个问題的方法，发现兴趣与转发的历史信息是决定信息传播者的重要因素，同样我们也公布了研究这个问題的数据集¹⁴，供以后科研人员继续使用。

以上所有的工作都通过论文的形式公开发表^[95-98]。

1.6 本文结构

本文的研究工作主要围绕社交媒体中检索与传播分析任务展开，我们可以将这两方面的工作分为以下几个主要部分：在 **Twitter** 检索方面，我们首先分析了 **tweet** 的文本信息与社交媒体信息，以此帮助 **Twitter** 中传统的信息检索任务；然后以此为基础，进一步探讨 **Twitter** 中观点检索问题，给定关键词，检索到话题相关且带观点的 **tweet**；在 **Twitter** 的观点检索任务中，我们发现检索结果存在大量的低质量观点，结合 **Twitter** 中的传播分析，我们从传播的内容角度考虑，转发的 **tweet** 一般是高质量的信息，因此我们再进一步研究了在 **Twitter** 中如何发现传播观点的问题；**Twitter** 信息的传播分析不仅可以从 **tweet** 的本身进行研究，也可以从受众的角度进行分析，因此最后我们讨论了在 **Twitter** 中如何需找信息传播者的问题。上述工作共分为六个章节，论文主体结构以及章节之间的关系如图 1.3 所示。每个章节内容具体安排如下：

第一章是绪论，首先介绍了本文研究的背景，介绍了社交媒体和 **Twitter** 的一些基础知识，接着提出研究动机，阐明了本文所涉及的科学问题、研究内容，并给出了研究方法，然后分析了研究问题，确立了依托自然语言处理技术与机器学习方法解决这些问题的基本思路，最后介绍了本文的主要工作和文章的结构。

第二章是 **Twitter** 中的信息检索，首先介绍了 **Twitter** 信息检索的研究背景，然后提出了以往 **Twitter** 信息检索方法忽视 **tweet** 文本结构化特点以及存在大量社交

¹⁴下载地址：<https://sourceforge.net/projects/retweeter/>

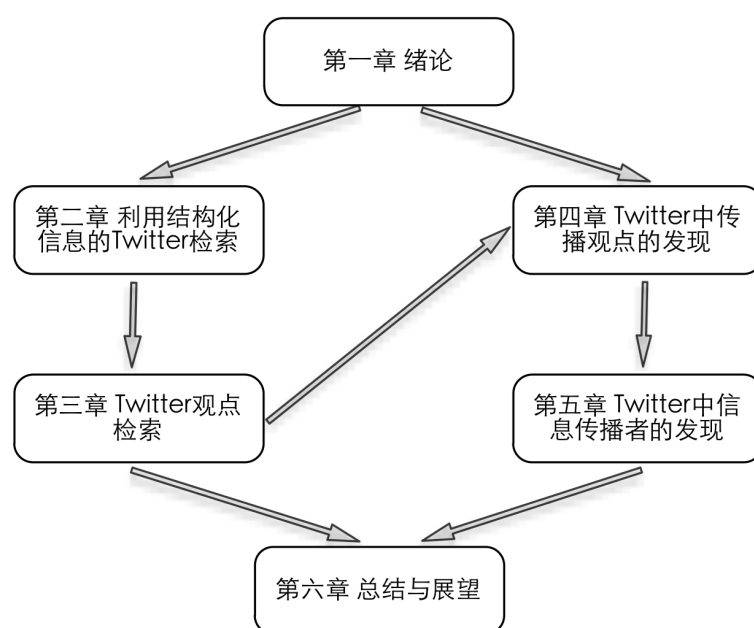


图 1.3 论文整体结构图

媒体信息的问题，以此设计了一种标注 **tweet** 文本结构的自动标注器，最后利用自动标注器标注 **tweet** 文本开发结构特征，结合社交媒体特征帮助 **Twitter** 信息检索，实验验证了方法的有效性。这一章回答了 **Twitter** 中人们是如何用自然语言描述客观话题，并且社交媒体特征与 **tweet** 话题相关性存在怎样的联系。

第三章是 **Twitter** 中的观点检索，本章开头定义了 **Twitter** 中的观点检索问题，分析了 **Twitter** 观点检索与以往观点检索的不同特点，接着提出了一种自动获取主观 **tweet** 与客观 **tweet** 的方法自动生成情感词典，依靠词典对 **tweet** 的文本进行主观化判定，结合 **tweet** 的用户属性信息和文本信息，利用排序学习算法，实现观点检索。实验部分，我们构造了自己的 **Twitter** 观点检索语料，并发布了语料供以后的研究者使用，实验结果证明了我们的观点检索方法有效。这一章回答了 **Twitter** 中人们是如何用自然语言表达主观观点，并且社交媒体特征与 **tweet** 观点相关性存在怎样的联系。

第四章中我们针对 **Twitter** 观点检索存在大量低质量观点的问题，依据转发 **tweet** 一般是高质量文本的既有研究成果，提出了在 **Twitter** 中发现传播观点的问题。我们首先定义了问题，然后构造了数据集，接着开发了 **tweet** 传播度特征、观点化特征和文本质量特征，将其整合到排序学习的机器学习模型框架中。实验结果说明了这些特征对于 **Twitter** 中发现传播观点是有帮助的，另外我们的方法可以达到人判定传播观点的效果。这一章回答了 **Twitter** 中人们是如何用自然语言表达传播性的观点，并且社交媒体特征与传播性的观点存在怎样的联系。

第五章中我们探讨了 Twitter 中发现信息传播者的问题，给定一个 tweet，发现 tweet 的作者粉丝中谁会转发该消息。我们开发了转发历史特征、用户特征、用户活跃时间特征和用户兴趣特征，并依然将其应用到排序学习的框架中构造模型进行排序。实验部分，我们构造了自己的测试数据与基准系统，我们公布了数据，实验结果显示了我们的方法能够成功找到 tweet 转发者。这一章回答了社交媒体特征与信息传播者存在怎样的联系。

最后一章是总结部分，我们阐明了本文工作的贡献点，并且指出了工作的一些不足，并对未来社交媒体检索与传播分析的一些问题和方法进行了尝试性地思考。

第二章 应用语义关系自动构建情感词典

2.1 引言

随着互联网的发展,尤其是社交网络的发展,各种社交媒体的用户发布内容中出现了海量含有用户主观情感色彩的文本数据。针对网络文本的信息处理开始由获得关键词^[99]、事件^[100]、话题^[101]等事实信息,开始向情感观点等主观信息深入,情感分析便是近年来迅速发展的信息处理技术^[2]。从数据中提炼出用户的主观信息对于商业情报、舆情分析等具有重要意义。情感分析技术就是对带有情感色彩的主观性文本进行自动推理、分析、归纳的过程,涉及自然语言处理、机器学习、认知科学以及社会心理学等方面的研究^[102]。语言的情感表达往往使用具有明确情感色彩的词汇,因此构建带有情感色彩的词典资源是进行情感分析研究的基础。情感分析研究在英文上发展迅速,积累了许多情感词典资源,比如: General Inquirer (GI)^[103], OpinionFinder (OF)^[104], Appraisal Lexicon (AL)^[105], SentiWordNet^[106] 以及 Q-WordNet^[107]。中文情感分析研究起步较晚,缺乏普遍认可的可靠的中文情感词典^[108-110]。目前研究使用主要有 HowNet 情感词典^[111], NTUSD 情感词典^[112] 以及大连理工大学的情感词汇本体词库^[113]。这些词典主要是以手工或半自动方式编辑而成,可靠性和领域适应性受到限制,并且情感词以主要褒贬二值区分,缺少情感强度值的细粒度划分。能够将资源丰富的英文词典跨语言向资源相对贫乏的语言进行适应性的转化,以产生其相应情感分析词典,既可以省去耗费大量人力的人工标注过程,又可以克服自动或半自动方法的可靠性问题。

本章提出基于可靠的英文情感词典资源的中文情感词典的构建方法,可以根据语义关系将英文词及其情感值转化得到中文词语的情感强度值,并且完全是自动的,可靠性和适应性更高。

2.2 词典资源简介

2.2.1 HowNet 语义词典

HowNet 是一个以中英文词语所代表的概念为描述对象,揭示概念与概念之间以及概念的属性与属性之间的关系的知识库。义原是 HowNet 最小语义单元,用于定义和描述概念的属性和概念间的相互关系,义原通过一个树状的层次结构组织构成上下位关系。概念是对词汇语义的一种描述,每一个词可以表达为几个概念^[114]。如图 2.1 所示,HowNet 采用 KDML (Knowledge Dictionary Mark-up

Language) 语言描述概念, 其中 W_X 表示词语, G_X 表示词语词性, E_X 表示词语例子, X 为 C 时表示中文, X 为 E 时表示英文。DEF 是对于该概念的定义项, 称之为一个语义表达式, 其中中英文标注的是义原, “#” 等标示符号来对概念属性之间关系进行描述, DEF 中还可以包含概念, 概念之间相互交织构成一个网。HowNet 一共有 2234 个义原, 收录了近 15 万条概念记录, 涵盖了绝大部分中文常用词语, 本章将基于 HowNet 的词语进行情感词典的构建。

```
NO.=098818
W_C=医生
G_C=N
E_C=
W_E=doctor
G_E=N
E_E=
DEF=human|人,#occupation|职位,*cure|医治,medical|医
```

图 2.1 HowNet 中概念的定义方式

2.2.2 WordNet 语义词典

WordNet 是由 Princeton 大学的心理学家, 语言学家和计算机工程师联合设计的一种基于认知语言学的英文词典^[115]。WordNet 是根据词义而不是词形来组织词汇信息。WordNet 使用同义词集合 (Synset) 代表概念, 词汇关系在词语之间体现, 语义关系在概念之间体现。WordNet 将英语的名词、动词、形容词和副词组织为 Synsets, 每一个 Synset 表示一个基本的词汇概念, 并在这些概念之间建立了包括同义关系 (synonymy)、反义关系 (antonymy) 等多种语义关系。其中, WordNet 最重要的关系就是词的同义反义关系。

2.2.3 SentiWordNet 情感词典

SentimentWordNet 是 Baccianella^[106] 等在语义词典 WordNet 基础上使用随机游走的图算法得到的情感词典。词典的每条记录都是一个 WordNet 的 Synset, 并且每个 Synset 都计算出了褒义、贬义情感强度值, 本文就是利用 SentimentWordNet 的情感强度值以及 HowNet 概念的语义关系进行计算得到中文词语的情感值。SentimentWordNet 共有 117,000 多 Synsets, 192,493 单词。

2.3 基于语义关系的情感词典构建方法

将英文情感词典的研究成果转化为文资源, 可以利用语言之间的语义对应关系减少词典的歧义, 使情感词典更加可靠, 还可以直接将英文中对情感强度的计算直接转化为中文词语的情感强度计算, 减少了计算开支。本研究正是基于这种

动机展开的。HowNet 对义原和概念进行了英汉双语标注，可以作为转化的“桥梁”。但是英文词语和中文词语都存在一词多义现象，不同语义所表达的情感倾向也不同，因此得到的情感值也会存在歧义。HowNet 中概念的 DEF 是由义原按语义关系进行描述的，可以利用这种语义关系对词语的情感值进行“消歧”。总体来说，解决方案如图 2.2 框架所示。



构建中文情感词典框架可以分为义原和词语抽取及语义分析、义原和词语情感值查询与计算以及词语的情感值计算三个过程。

2.3.1 词语抽取和义原抽取及语义分析

词语抽取主要是从 HowNet 词典中抽取词语 (W_C) 和属性定义 (DEF) 并对 DEF 进行分析。DEF 是由义原和语义关系描述等构成的, 在进行词语倾向计算时, 需要根据义原进行词语的语义分析和倾向计算。情感词语抽取处理流程如图 2.3 所示。

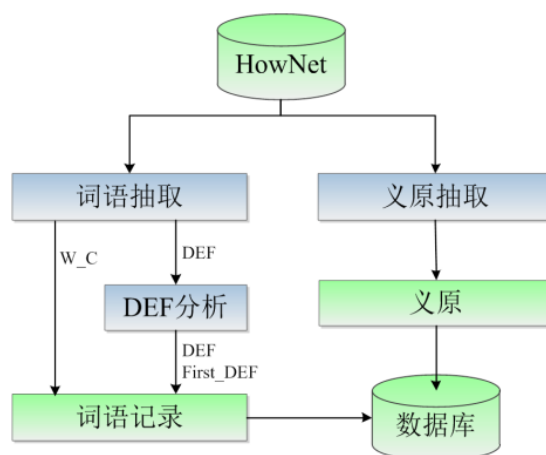


图 2.3 词语和义原抽取处理流程

在抽取得到的词语记录中, 主要关注的内容有词语编号 (No)、中文词语 (W_C)、中文词性 (G_C)、英文词语 (W_E)、英文词性 (G_E)、属性 (DEF)、第一属性 (First_DEF) 等。其中第一属性是指位于属性 DEF 第一位置的义原, 通过第一属性可以分析出该词语所属的特征类。

由于 HowNet 中的词语是由义原和语义关系描述等构成的。在进行词语倾向计算时, 需要根据义原进行词语的语义分析和倾向计算。在抽取得到的义原的记录中, 主要关注的内容有词语编号 (No)、特征类别 (Category)、中文词语 (W_C)、英文词语 (W_E)、属性 (DEF)、层次 (Layer)、父亲节点编号 (Father) 等。根据记录中的层次 (Layer) 和父亲节点编号 (Father) 可以得到义原之间的语义关系, 如编号为 33 的义原“依靠”位于“事件类 (Event)”的第五层, 其父亲节点编号为 32, 通过查询编号为 32 的义原, 得到其父亲节点义原为“有关 (relate)”, 表示 DEF 中包含, 因此抽取的记录中包含了义原及其在词语中的语义关系。

2.3.2 情感值的查询与计算

HowNet 词语是中英双语, 因此有的可以直接将抽取到的英文词语 (W_E)、英文词性 (G_E) 直接送入英文情感词典查询其情感值。但是大部分词语英文部分

不是一个单词，因此无法直接得到情感值，而且由于词语的多义性，也无法获得唯一的情感值，因此需要进行“消歧”；HowNet 中词语是由其属性 DEF 定义的，DEF 是由多个义原按照一定的语义关系组合而成的，词语的倾向性可以看作是由义原的倾向性按照一定的规律组合而成的。因此词语的倾向性值可以通过义原的倾向性值根据语义关系计算获得，一方面可以获得直接查询无法获得情感值的词语，另外一方面也可以利用 DEF 情感值进行修正并消歧。

2.3.2.1 词语倾向性值查询与计算

WordNet 是以词义 (sense) 来记录的，sense 以同一词义的词集 Synset 表示。通过查询可以得到词语 W_E 所有的 sense，将每个 sense 映射到 SentiWordNet 就可以得到对应的情感值。

2.3.2.2 义原倾向性值查询与计算

基于 WordNet 和 SentiWordNet 的义原倾向计算过程如图 2.4 所示。在 HowNet 中获取义原后将义原对应英文词语（如“good”）映射到 WordNet 中进行查询，得到该词语所有的 Sense（如“good”的 Sense 共有 27 个）；将这些 Sense 映射到 SentiWordNet 中查询得到对应 Sense 情感值；将情感值加权根据公式 2.1 计算得到义原的情感倾向值（如“good”的倾向值为 PosScore=0.597，NegScore=0.004）。

$$\varphi(s, p) = \frac{\sum_{i=1} \varphi_i(s, p)}{\sum_{p \in P} \sum_{i=1}^m \varphi_i(s, p)} \quad (2.1)$$

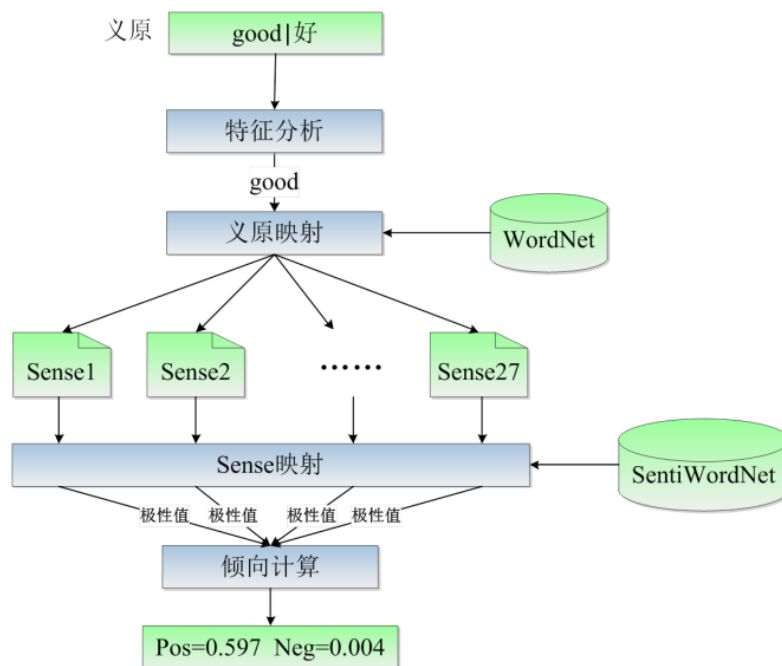


图 2.4 义原情感值计算过程

公式中 P 表示极性类型（积极、消极、中性，“P、N、O”）， m 为与义原相对应的 Sense 的总数， s 表示义原， $\varphi(s, p)$ 表示义原的极性值， $\varphi_i(s, p)$ 表示义原在编号为 i 的 Sense 中的类型极性值。

事件类义原有很多在 DEF 描述中可以引起情感值的变化，比如“DoNot| 不做，lose| 失去”等会引起情感值符号反转，因此我们标注了 819 个事件类义原的在情感值计算中的语义角色，并用系数 λ 来表示。

2.3.3 词语情感值计算

通过 2.3.2.1 部分查询可以获得部分词语的情感倾向值，有些词语由于是多义的，情感值可能有几个，因此需要根据词语 DEF 描述中义原情感值进行计算修正和消歧。对 HowNet 中词语属性描述 DEF 语义关系的不同提出如下定义：

定义 1 情感倾向值取反：词语 s 的 p 极性值 $\varphi(s, p)$ 取反运算是，将 s 的积极倾向值和消极倾向值互换，过程如公式 2.2：

$$\overline{\varphi(s, p)} = \varphi(s, q), \quad (p, q) \in P \& \& p \neq q \quad (2.2)$$

定义 2 因子乘法运算： λ 因子与词语 s 的 p 极性值的乘法运算定义为 λ 乘法运算，过程如公式 2.3：

$$\lambda \times \varphi(s, p) = \begin{cases} \lambda \varphi(s, p), & \lambda > 0 \\ 0, & \lambda = 0 \\ |\lambda| \varphi(s, p), & \lambda < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

λ 取值的确定需要根据义原的类别特征、词语 DEF 的组成特征和义原间的语义关系进行确定，这些都已经抽取部分和义原情感值计算部分记录下来。如词语“好”的 DEF 中每个义原的 λ 可以均取值为 1。词语“扭亏为盈”的 DEF 为“DEF=alter| 改变，StateIni=InDebt| 亏损，StateFin=earn| 赚”，义原“InDebt| 亏损”为初始状态，“earn| 赚”为最终状态，经过分析后，义原“InDebt| 亏损”的 λ 取值为 0，义原“earn| 赚”的 λ 取值为 1。词语倾向计算总结为公式 2.4。其中 $\varphi(s, p)$ 表示词语 s 的 p 极性值， t_i 表示词语 DEF 中第 i 个义原， n 为词语 DEF 中义原总数。

$$\varphi(s, p) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \times \varphi(t_i, p)}{\sum_{p \in P} \sum_{i=1}^n \lambda_i \times \varphi(t_i, p)} \quad (2.4)$$

其中： $\sum_{p \in P} \varphi(s, p) = 1$ 。

对于已经通过查询得到情感值的词语，可以在多个英文词义 *sense* 对应的情感值 $\varphi(s, p)$ 取最接近 DEF 分析计算得到的情感值 $\varphi_{min}(s, p)$ 的，然后加和平均，计算公式为：

$$\Psi(s, p) = \frac{\varphi_{min}(s, p) + \varphi(s, p)}{2} \quad (2.5)$$

其中： $\varphi_{min}(s, p) = \min\{|\varphi_s(s, p) - \varphi(s, p)|\}$ 。

2.4 实验及结果

情感词典的实验评测有两种方法，一是与人工编辑的或者其他可靠性较高的词典进行对比评测，二是将词典应用到情感分析的其他任务上观察性能的提升，本文使用第一种方法。在实验评测时，基准词语由 HowNet 中随机选取了 2000 个词语进行人工判断，人工判断只给出褒贬两种极性。本章生成词典 SentiLex 与 HowNet 情感词典，NTUSD 情感词典以及大连理工大学的情感词汇本体词库 DLLEX 进行对比评价。

2.4.1 评价指标

评价指标采用准确率、召回率以及 F 值作为评测标准。设 a_1 表示褒义判断正确词数； a_2 表示贬义判断正确词数； b_1 表示判断为褒义的词数； b_2 表示判断为贬义词数； c_1 表示基准词典褒义词数； c_2 表示基准词典贬义词数。准确率计算公式为：

$$P = \frac{a_1 + a_2}{b_1 + b_2} \times 100\%$$

召回率计算公式为：

$$R = \frac{a_1 + a_2}{c_1 + c_2} \times 100\%$$

F 值计算公式为：

$$F = \frac{2 \times P \times R}{P + R} \times 100\%$$

。

2.4.2 性能评测结果

2.4.2.1 阈值 T 的设置

由于基准词是褒贬二值标注的，因此需要将生成的情感词典连续情感值转换为离散褒贬值。将褒义和贬义情感值相减得到词语的倾向值来判断词语的极性，

为了提高判断的准确性, 设定阈值 T , 高于 T 为褒义, 低于 $-T$ 为贬义。图2.5为 T 的不同取值对词典性能指标的影响。在 $T=0$ 时, 虽然召回率最高达到 88.58%, 但准确率最低仅有 54.40%, F 值仅为 67.40%。当 $T=0.05$ 时, 准确率提高到 77.75%, 有较大提高, 召回率仅下降到 87.61%, 下降幅度较小, F 值提高到 82.39%。当 T 提高到 0.05 时性能指标达到最好, 因此可以设定 T 为 0.05。

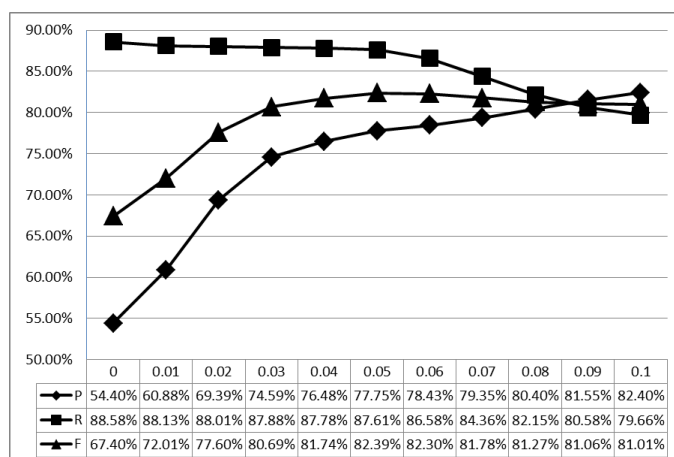


图 2.5 不同 T 值时的性能指标

2.4.2.2 与其他词典性能对比

在 $T=0.05$ 时, SentiLex 与其他词典性能比较如表 2.1 所示, SentiLex 准确率为 77.75%, 接近最高的 DLLEX 词典 78.40%, 而召回率为 87.61%, F 值为 82.39%, 均为四个词典中最高。

表 2.1 $T=0.05$ 时的性能对比

	准确率 (P)	召回率 (R)	F 值
HowNet	74.55%	82.35%	78.26%
NTUSD	64.23%	80.27%	71.36%
DLLEX	78.40%	85.58%	81.83%
SentiLex	77.75%	87.61%	82.39%

2.5 小结

本章对中文情感词典构建相关研究进行了分析, 以英文情感词典为基础, 设计了基于语义关系的情感词典自动构建方法。方法以 HowNet、WordNet 语义词典和 SentiWordNet 情感词典为基础, 借鉴英文情感词典进行中文情感词典的构建, 并且与现有的常用情感词典进行了实验对比。实验结果表明, 本文设计的方法取得了较好的评测性能。

第三章 基于语料资源的中文情感词典扩展

3.1 引言

自然语言中，一个词语的语义极性（semantic polarity）表示它对于其语义组（semantic group）或词汇场（lexical field）范式的偏离方向^[116]。在自然语言处理领域，情感分析（Sentiment Analysis）能够使用计算手段自动从自然语言中发现观点和情感等主观信息^[13, 15]，通常会使用一些标注了极性（积极或消极）的词汇构成的情感词典资源。研究如何能够通过计算方式获得词语的语义极性，自动构建情感词典一直得到计算语言学和自然语言处理研究人员关注。在英文情感词典构建中，Wilson 等^[117, 118]对一些单词进行了人工极性类别的标注形成了 OpinionFinder 词典；Bradley 等^[119]标注了并发布了情感范式的英文词典 ANEW，后来 Nielsen 等^[120]在 Twitter 语言上应用并自动扩展了 ANEW，形成 AFINN 词典。Esuli 和 Sebastiani^[121]以及后来 Baccianella 等^[106]在著名的语义词典 Wordnet 基础上采用自动计算的方式开发出了情感词典 SentiWordnet。Thelwall 等^[122]设计实现了能对词语的情感强度进行估计的方法。情感也可以通过创建情绪词典来进行计算，Plutchik 情绪轮提出了四对对立的情绪状态：joy-trust, sadness-anger, surprise-fear 和 anticipation-disgust^[123]。Mohammad 和 Turney^[124]根据 Plutchik 情绪轮分类方法使用情绪分值标注了一些词语形成 NRC 情绪词典。在 2013 和 2014 年举办的 SemEval（Semantic Evaluation）评测中，NRC-Canada 队利用 NRC 词典并扩展出两种新的词典，取得了最好成绩^[125, 126]。为了克服以上语法层面建立的词典的上下文语境以及领域适应性问题，一些学者提出了基于概念（concept-based）构建情感词典^[127]，其中 SenticNet 是使用常识知识库建立的公开可用的基于概念的情感词典^[128]。

中文情感分析研究起步较晚，想对于丰富的英文情感词典资源，缺乏普遍认可的可靠的中文情感词典。目前研究使用主要有 HowNet 情感词典^[111]，NTUSD 情感词典^[112]以及大连理工大学的情感词汇本体词库^[113]。这些词典主要是以手工或半自动方式编辑而成。我们的前期工作提出了根据语义词典 HowNet 语义关系将英文情感词典跨语言转换为中文情感词典的方法，并构建了带有极性标示以及极性强度值的的情感词典 SentiHowNet^[129]。基于语义词典的情感词典构建方法是一种常用的情感词典构建方法。采用这种方法的优势在于可以比较容易获取情感词语，基于词语的语义关系也易于进行情感极性计算。但是，基于语义词典的情感词典构建方法受限于语义词典的规模和语义关系的定义，而且对于专业领域中不断涌现的新词语，对情感词典的覆盖度提出了严峻的挑战。随着互联网应用，

尤其是社交媒体的不断涌现，越来越多的用户在各种网络平台上发布信息，网络上的用户产生内容（User Generated Content, UGC）不断涌现，研究如何利用这些丰富的网络语料对情感词典进行自动扩展具有十分重要的意义。

本章提出的基于语料资源的无监督的情感词典扩展方法，可以用于无需标注的网络数据语料对中文情感词典进行自动扩充。

3.2 问题描述

基于语料资源的情感词语选择与极性计算，在英文中相关研究通常有两种实现思路：一是基于语言特征的方法，例如，Hatzivassiloglou^[116]等人采用并列或转折连词来判断新的情感词并计算其极性。二是基于统计特征的方法，例如，Turney等^[130]采用点互信息统计学方法从语料中发现共现度高的情感词并计算其极性。基于以上情感词语选择与极性计算方法的分析，本文将基于中文语料资源扩展情感词典时需要解决的问题描述如下：

1. 研究根据中文语言中的并列、递进以及转折关系对情感词的发现以及极性计算的作用；
2. 根据中文特点，基于统计特征相关知识设计情感词语选择和极性计算方法；
3. 研究采用基于语言特征和统计特征相混合的方式进行情感词语选择和极性计算。

3.3 数据集及预处理

本文使用的数据资源如表 3.1 所示，选取的语料资源是谭松波博士提供的酒店、书籍和电子商品评论三个领域的语料文本各 4000 篇^[131]。

表 3.1 数据集及词典资源

词典	SentiHowNet	基于前期工作 ^[129]
语料	Hotel	4000 篇
	Book	4000 篇
	NoteBook	4000 篇

其中对语料进行预处理需要将中文文本进行分词并进行词性标注。中文分词处理是对语料进行进一步处理的基础，采用的是中科院设计实现的 ICTCLAS 分词软件^[132]；然后将词性标注为形容词 (ADJ) 和副词 (ADV) 的，在 SentiHowNet^[129] 中出现的进行极性和极性值标注；生成的结构化语料预处理记录格式如图 3.1 所

示，主要有词语编号 (ID)、词性 (Category)、中文词语 (W_C)、词语在句子中的编号 (Word_Tag)、词语所在语料文件编号 (File_Tag)、词语所在句子编号 (Sentence_Tag)、极性标注 (Senti_Tag)、积极极性值 (PosScore) 和消极极性值 (NegScore)。值得说明的是，极性标注的取值为 Yes 和 No，分别表示已标注和未标注，可以用于在具体的计算过程中直接进行情感词语的选择。

```
ID=135
Category=ADJ
W_C=有趣
Word_Tag=2
File_Tag=40.txt
Sentence_Tag=0
Senti_Tag=No
PosScore=0.6458333333333334
NegScore=0.0
```

图 3.1 语料预处理记录格式

3.4 基于语言特征的情感词典扩展

早期对于英文语言特征一些研究^[116]发现，由连词（如 and 或 but）连接的两个形容词的极性往往存在一定的关联性，如“and”连接的形容词（如“nice and good”）极性相同，而“but”连接的形容词（如“nice but unnatural”）极性相反。而对于中文来说，基于语言特征的中文情感词是否会遵循想通的规律，非常值得进行研究。

3.4.1 连词选择

连词是用来连接词与词、词组与词组或句子与句子、表示某种逻辑关系的虚词。连词可以表示并列、承接、转折、因果等关系。本文主要研究基于表达并列、转折和递进三种关系的连词如何影响情感词的极性计算，选择的连词为：

- **并列关系连词**：和、跟、与、既、同、及、况、况且、乃至、并、也、又；
- **转折关系连词**：却、虽然、但是、然而、偏偏、只是、不过、至于、致、不料、岂知；
- **递进关系连词**：不但、不仅、何况、并、且、而且。

3.4.2 基于连词的极性计算

基于连词的情感词语极性计算基本思路是，待标注词语的极性值通过 SentiHowNet 中所有与其在同一句子的词语情感极性值计算获得，然后通过极性值判断其极性。情感极性值计算为：

$$\begin{cases} PosScore(w_t) = \frac{\sum_{w \in W_1} PosScore(w) + \sum_{w \in W_2} PosScore(w) + \sum_{w \in W_3} PosScore(w)}{N} \\ NegScore(w_t) = \frac{\sum_{w \in W_1} NegScore(w) + \sum_{w \in W_2} NegScore(w) + \sum_{w \in W_3} NegScore(w)}{N} \end{cases} \quad (3.1)$$

其中， $W_1 + W_2 + W_3 = N$ ， N 表示 SentiHowNet 与待标注词在同一个句子中情感词语， W_1 ， W_2 和 W_3 分别表示在 SentiHowNet 中与待标注词 w_t 在连接词同侧，在并列或递进连接词两侧以及在转折连接词两侧的词语。词语 w_t 极性根据积极与消极极性值大小判定为：

$$Senti_tag(w_t) = \begin{cases} positive & \text{if } PosScore(w_t) > NegScore(w_t); \\ negative & \text{if } PosScore(w_t) < NegScore(w_t); \\ neutral & \text{if others} \end{cases} \quad (3.2)$$

具体计算过程如算法 3.1 所示。

3.4.3 实验

实验中用于评测的极性标注标准是基于人工标注和网络注释 (百度百科等) 等多种途径综合获得。评价指标采用正确率、召回率以及 F 值作为评测标准。针对三个领域的情感词典扩展实验结果如表 3.2 所示，对于三个语料，其召回率均达到 67% 以上。其中对于 Hotel 语料，其正确率最低，为 43.69%，而其召回率最高为 88.24%。其余语料正确率较高。经分析，Hotel 语料中可以用于计算的连词结构的语句所占的比例小于其他语料。从平均值上可以看出，基于连接词的词语极性计算同样适用于中文。

表 3.2 各个领域性能评测结果

	正确率 (P)	召回率 (R)	F 值
Hotel 语料	43.69%	88.24%	58.44%
Book 语料	67.47%	67.47%	67.47%
NoteBook 语料	67.21%	67.21%	67.21%
平均值	59.46%	74.31%	64.37%

算法 3.1 基于连词的极性计算**已知:**待标注词语集, $\{w_1\}$;连词集合, $\{c\}$;极性已知词语集合, $\{w_2\}$;

```

1: for 每一待标注词语  $w_1 \in \{w_1\}$  do
2:   for 每一与  $\{w_1\}$  在同句子中已标注词  $w_2 \in \{w_2\}$  do
3:     if  $\{w_1\}$  和  $\{w_2\}$  在  $c$  同侧 then
4:       
$$\begin{cases} PosScore(w_1)+ = PosScore(w_2) \\ NegScore(w_1)+ = NegScore(w_2) \end{cases} ;$$

5:     else
6:       if  $c$  为并列或递进连词 then
7:         
$$\begin{cases} PosScore(w_1)+ = PosScore(w_2) \\ NegScore(w_1)+ = NegScore(w_2) \end{cases} ;$$

8:       end if
9:       if  $c$  为转折连词 then
10:        
$$\begin{cases} PosScore(w_1)- = PosScore(w_2) \\ NegScore(w_1)- = NegScore(w_2) \end{cases} ;$$

11:      end if
12:    end if
13:  end for
14:  计算极性均值 
$$\begin{cases} PosScore(w_1) = \frac{PosScore(w_1)}{N} \\ NegScore(w_1) = \frac{NegScore(w_2)}{N} \end{cases} ;$$

15:  根据情感值  $PosScore(w_1)$  与  $NegScore(w_1)$  判断极性;
16:  将  $w_1$  加入到集合  $\{w_2\}$ ;
17: end for

```

3.5 基于统计特征的情感词典扩展

词语的上下文是词语在实际应用中的语言环境, 它在自然语言处理中的价值体现在两个方面: 一方面, 在自然语言知识获取的过程中, 上下文是知识获取的来源; 另一方面, 在自然语言处理的应用问题解决过程中, 上下文扮演着解决所需信息和资源提供者的重要角色。特别是在语料库语言学中, 各种机器学习方法的引入使词语的上下文成为计算语言学知识获取和问题求解过程中最为重要的资源, 在无监督学习方法中更是如此^[133]。本文设计实现的基于统计特征的情感词典扩展方法主要是采用基于上下文的方法进行情感词语极性计算, 因为出现在相似上下文环境中的词语具有相似的极性。

上下文的选取时基于核心词左右一定范围进行的，这个固定的范围被称为“窗口”。选择合适的窗口，可以使得上下文的计算提供的信息量足够大，产生的噪声足够小。在英文中，核心词左右 5 个词的范围可以为词语搭配提供 95% 的信息，上下文 ± 2 是最好的选择，范围进一步扩大后提供的信息量不会有明显的增加且会带来不必要的计算开销。本章的方法首先是对待标注词语，分析其上下文词语的词性，获取其特征向量；其次，根据其上下文特征向量实现情感词语极性计算。

3.5.1 统计特征选择

定义 3-1 词语 w 的特征向量 $V(w)$ 和窗口 W : 词语 w 的特征向量 $V(w)$ 是指由词语 w 与其相邻上下文词语的词性组成的向量，具体形式为公式：

$$V(w) = \langle C_{-W}, C_{-W+1}, \dots, C_{-1}, C_0, C_{W-1}, C_W \rangle$$

其中， C_0 表示词语 w 的词性， $C_i (i \neq 0)$ 表示与 w 相邻的词语的词性， i 表示与词语 w 的相对距离， W 表示窗口，即特征向量中与词语 w 相对距离的最大值。

3.5.2 基于上下文的情感词极性计算

基于上下文的情感词极性值计算根据 SentiHowNet 中具有相同的特征向量的词语的极性值进行计算，通过极性值判断其极性。情感极性值计算为：

$$\begin{cases} PosScore(w_t) = \frac{\sum_{V(w)=V(w_t)} \frac{|\sum_{w \in W_{positive}} PosScore(w) - \sum_{w \in W_{negative}} PosScore(w)|}{M}}{N} \\ NegScore(w_t) = \frac{\sum_{V(w)=V(w_t)} \frac{|\sum_{w \in W_{positive}} NegScore(w) - \sum_{w \in W_{negative}} NegScore(w)|}{M}}{N} \end{cases} \quad (3.3)$$

其中 $W_{positive} + W_{negative} = M$ ，表示与待标注词 w_t 具有同一特征向量的 SentiHowNet 中的情感词， $W_{positive}$ 和 $W_{negative}$ 分别为极性为积极和消极的词语， N 为待标注词 w_t 在不同的上下文环境中的特征向量数。 w_t 极性判断依据其积极与消极极性值的大小判断，同公式 3.2。具体计算过程如算法 3.2 所示。

3.5.3 实验

对三个领域 (Hotel、Book、NoteBook) 的情感词典扩展实验结果如图 3.2、图 3.3 和图 3.4 所示。对于三个语料，当窗口 $W = 1$ 时，准确率最高，分别为 67.65%、72.89% 和 72.13%；当窗口 $W = 2$ 时，召回率有所上升，准确率略有下降；当窗口 $W = 3$ 时，召回率最高，准确率和 F 值下降较多。通过对评测结果进行分析，本文发现在设计基于统计特征的情感词典扩展方法时，采用窗口 $W = 1$ 进行情感词语选择，采用窗口 $W = 12$ 进行情感词语极性计算，可以获得较好的性能。

算法 3.2 基于统计特征的极性计算

已知:

待标注词语集, $\{w_1\}$;极性已知词语集合, $\{w_2\}$;每个词特征向量集合, $\{V(w)|w \in \{w_1\} \cup \{w_2\}\}$;

```

1: for 每一待标注词语  $w_1 \in \{w_1\}$  do
2:   for  $w_1$  每一特征向量  $V(w_1)$  do
3:     for 每一与  $V(w_1)$  相同的特征向量  $\{V(w_1) = V(w_2)|w_2 \in \{w_2\}\}$  do
4:       if  $Senti_{Tag}(w_2) = positive$  then
5:          $\begin{cases} PosScore(w_1)+ = PosScore(w_2) \\ NegScore(w_1)+ = NegScore(w_2) \end{cases}$  ;
6:       else
7:          $\begin{cases} PosScore(w_1)- = PosScore(w_2) \\ NegScore(w_1)- = NegScore(w_2) \end{cases}$  ;
8:       end if
9:     end for
10:    对各个特征向量下的情感值累加
11:     $\begin{cases} PosScore(w_1)+ = PosScore(w_1) \\ NegScore(w_1)+ = NegScore(w_1) \end{cases}$  ;
12:  end for
13:  计算极性均值  $\begin{cases} PosScore(w_1) = \frac{PosScore(w_1)}{i} \\ NegScore(w_1) = \frac{NegScore(w_1)}{i} \end{cases}$  ;
14:  根据情感值  $PosScore(w_1)$  与  $NegScore(w_1)$  判断极性;
15:  将  $w_1$  加入到集合  $\{w_2\}$ ;
16: end for

```

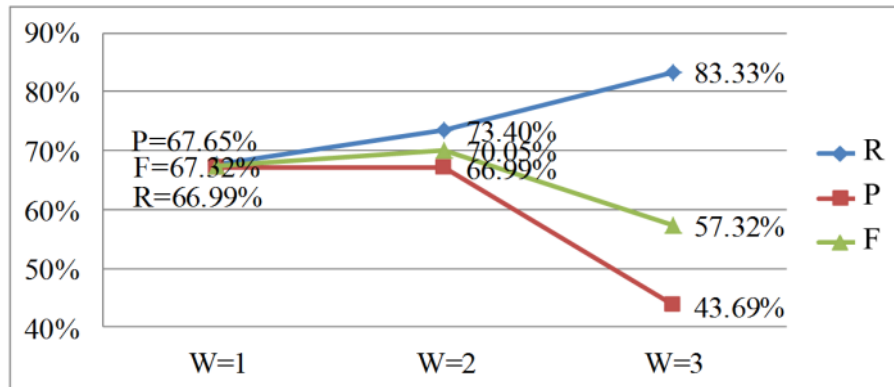


图 3.2 Hotel 语料评测结果

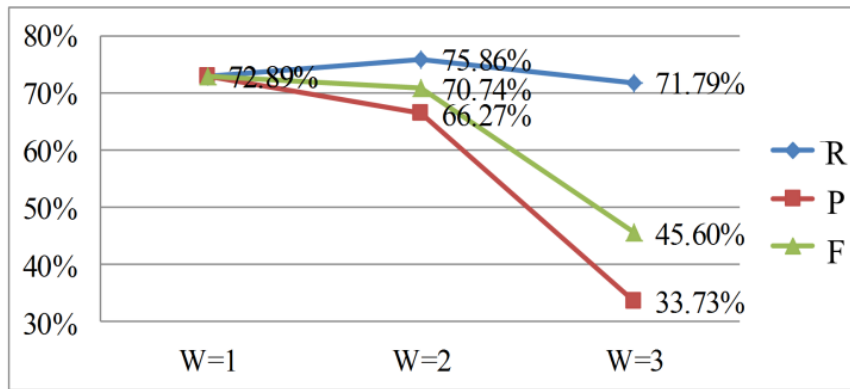


图 3.3 Book 语料评测结果

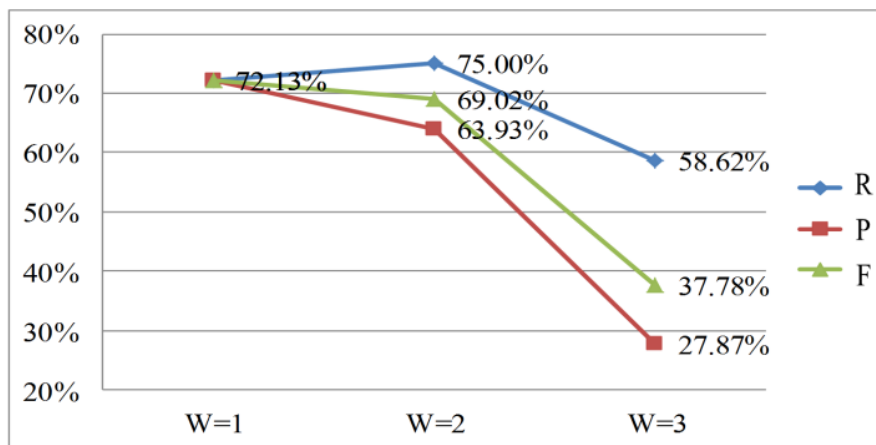


图 3.4 NoteBook 语料评测结果

3.6 基于混合特征的情感词典扩展

对基于语言特征的情感词典扩展方法和基于统计特征的情感词典扩展方法的实验结果进行仔细分析发现，采用语言特征无法进行情感极性计算的词语，可以采用统计特征进行处理；同样的，采用统计特征无法进行情感极性计算的词语，可以采用语言特征进行处理；两种方法可以相互补充。因此本文提出基于混合特征方法。

3.6.1 基于混合特征的情感词极性计算

基于混合特征的情感词语极性计算如算法 3.3。将选取的情感词语集合分别采用两种方法进行极性计算，在将两种方法计算的极性值合成时，遵循以下原则：

1. 优先采用基于统计特征的方法计算出的情感极性值作为待标注词语的情感极性值。

2. 当采用基于统计特征的方法进行计算时，优先设置窗口大小为 2，其次为 1。
3. 当采用基于统计特征的方法无法对待评价词语进行情感计算时，采用基于语言特征的方法进行计算。

算法 3.3 基于混合特征的极性计算

已知:

待标注词语集, $\{w_1\}$;

极性已知词语集合, $\{w_2\}$;

连词集合, $\{c\}$;

每个词特征向量集合, $\{V(w)|w \in \{w_1\} \cup \{w_2\}\}$;

```

1: for 每一待标注词语  $w_1 \in \{w_1\}$  do
2:   依据算法 3.2 计算情感极性值
3:   if  $\begin{cases} PosScore(w_1) = 0 \\ NegScore(w_1) = 0 \end{cases}$  then
4:     依据算法 3.1 计算情感极性值
5:   end if
6:   根据情感值  $PosScore(w_1)$  与  $NegScore(w_1)$  判断极性;
7:   将  $w_1$  加入到集合  $\{w_2\}$ ;
8: end for
  
```

3.6.2 实验

对三个领域 (Hotel、Book、NoteBook) 的情感词典扩展实验结果如表 3.3 所示。

表 3.3 各个领域性能评测结果

	正确率 (P)	召回率 (R)	F 值
Hotel 语料	75.49%	74.76%	75.12%
Book 语料	77.11%	77.11%	77.11%
NoteBook 语料	78.69%	78.69%	78.69%

基于语言特征的情感词典扩展、基于统计特征的情感词典扩展和基于混合特征的情感词典扩展的实验评测结果对比情况如图 3.5、图 6 3.6 和图 3.7 所示，通过分析发现，基于混合特征的情感词典扩展方法的评测性能是在各个领域语料中均是最优的。

3.7 小结

本章详细讨论了基于语料资源的中文情感词典扩展问题描述和方法设计，对基于语言特征的情感词典扩展和基于统计特征的情感词典扩展的关键技术分别进

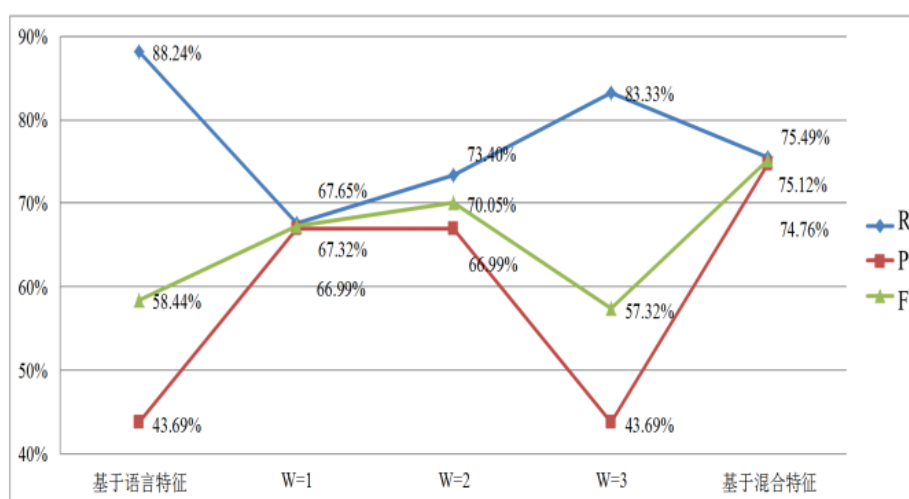


图 3.5 Hotel 语料评测结果综合比较

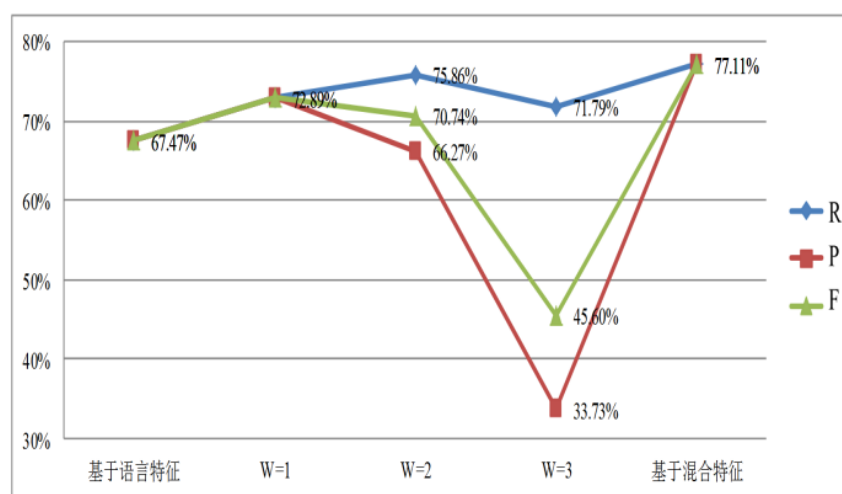


图 3.6 Book 语料评测结果综合比较

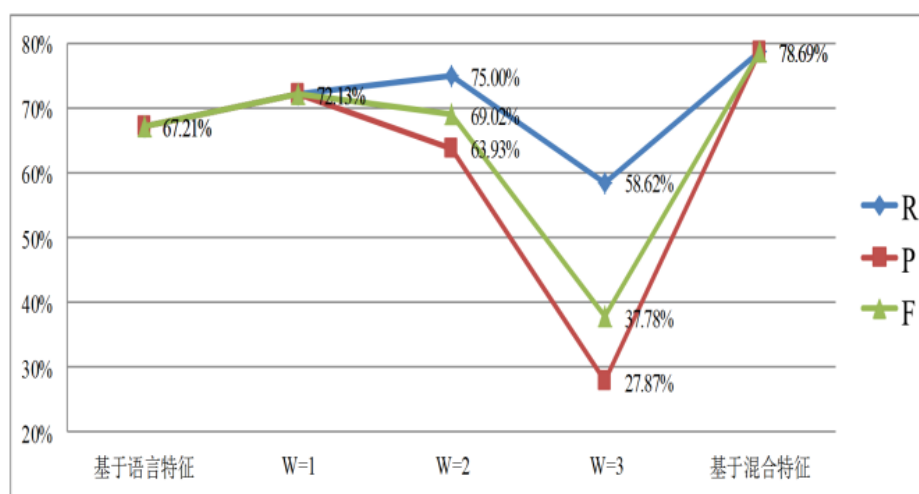


图 3.7 Notebook 语料评测结果综合比较

行了研究和算法实现，并提出了了基于混合特征的无监督的情感词典扩展方法。通过分析每个方法的实验结果，发现基于混合特征方法能够达到最好性能。

第四章 无监督的自举式情感分类

4.1 引言

文本的情感分析是挖掘文本中主观性信息学的主要手段，是研究文本中观点、态度、情绪和立场等主观性信息是如何表达的。情感分析技术可以从数量庞大的文本数据中抽取并总结主观性信息，为后续的一些应用（商业智能（Business Intelligence），舆情分析（Public Opinion Analysis）或选举预测（Election Prediction）等）提供技术和工具支持^[15]。在社交媒体中，一些基于文本的平台比如微博产生了大量针对各种话题或实体的带有主观性信息的数据。这对这些数据的分析，也就是情感分析正逐渐受到各个研究领域（比如推荐系统和搜索引擎）的重视。情感分析中一个主要的方法就是应用各种分类技术，也就是根据作者的主观态度将文本进行分类，一般将这种研究称为情感分类研究。情感分类一般是从一些标注过的训练数据中通过学习得到一个分类模型，学习得到能够将一种情感类型区别于其他类型的一些特征^[134]。这种模型的性能主要依赖于其能够学习到的数据中出现的情感的文本表达模式，一般是文本中出现的词语、短语或者词语的各种组合。情感分类也就是情感分析的分类形式，虽然可以被视作文本分类的特殊形式，实际上情感分类是比文本分类更具挑战的任务，因为文本中情感的表达方式严重依赖领域和上下文环境^[7, 1]。

随着微博（Twitter、新浪微博等）的出现和广泛使用，用户产生内容（UGC, User-Generated Content）成指数增长，这些内容并且这些内容对于我们来说是很容易获取的，并且这些内容里面有很多用户对于各种话题的观点和情感等主观性信息。因此我们可以很方便的从这些数据中提取出主观性信息，并使其在商业、旅游或者健康领域得到应用。但是对微博进行情感分类特别具有挑战性，因为（1）用户使用微博表达观点的方式是多种多样的，既有正规传统语言的表达方式，又有社交媒体特有的流行的表达方式，比如“coooooool”，“OMG”，“:-(”，“屌丝”，“逆袭”等，这些表达方式虽然对于人来说是比较直观和易于理解的，并且更加方便了用户的在线交流，但是对于计算机来说，却是很难准确确定这些表达方式的观点和情感等语义信息。（2）更具挑战性的是，因为用户群体的复杂性，经常会有用户创造出的一些缩写词或者新词，并且会将一些传统的词赋予新的语义在微博中重新使用，这些语言上的变化使得微博上观点的表达方式有别于传统文本的表达方式。综上所述，可以看出微博中的文本噪声、非正式本质以及语言词汇的急剧膨胀使得对微博中表达的主观性信息自动分析需要依赖于微博这种独特的语言环境，因此进行情感分类是困难的。这种情况被称为微博情感分类的领域（或语

言环境) 依赖问题, 也就是使用其他文本数据集 (比如评论或博客) 训练出的分类器在微博的情感分类时会出现性能急剧下降, 而要获得大量微博训练数据集需要大量的人力, 并且微博数据具有时效性, 不同时间阶段的微博数据集中观点表达方式也会产生漂移。

本章我们主要关注微博情感分类的领域依赖性问题。为了解决这个问题, 基于我们的一些观察, 我们提出了一种无监督的自举式 (bootstrapping) 情感分类框架。该框架首先使用现有的已经有情感标签的语言资源训练得到一个通用的能够跨领域使用的分类器; 然后再根据该分类器的跨领域特点使用其作为初始分类器对微博进行分类, 获得一些高可信度的微博作为训练集训练得到一个微博分类器; 将两个分类器结合迭代使用共同训练 (Co-training) 过程, 逐步在目标数据集扩展并训练微博分类器, 直至其分类性能达到最优。

4.2 相关工作

情感分类在观点挖掘研究中越来越受到重视, 前期工作主要研究针对评论 (商品或电影) 进行情感分类。经常使用的方法可以分为基于规则的方法和基于学习的方法, 其中基于机器学习方法性能一般比较好因而常被用来作为对表的标准^[135]。

现在研究人员逐渐开始注意到微博中用户的主观性信息, 并开始结合微博的语言特点进行对微博进行情感分类研究。一些研究显示可以将微博的一些独特的特征结合进情感分类方法中。比如, Barbosa 和 Feng^[136] 提出了两阶段支持向量机分类器 (Support Vector Machine (SVM) classifier) 对 tweet 进行情感分类, 证明了该分类器能对 tweet 的类别偏置 (biased) 和噪声具有很好的鲁棒性; Hu 等^[137] 将社交媒体数据中的情感表达解成情感指征 (emotion indication) 和情感关联 (emotion correlation) 两种信号, 通过对两类情感信息进行联合建模方式实现了对微博的无监督情感分类; Jiang 等^[2] 主要关注依赖于特定目标的微博情感分类, 提出了通过将目标依赖特征 (target-dependent features) 和相关微博同时进行考虑的监督学习方法, 并证明了可以提升情感分类性能; Wang 等^[138] 针对 hashtag 级别的情感分类进行了研究, 并提出了一个全新的图模型, 然后使用提升 (boosting) 式分类方法进一步提高了模型的性能; Amir 等^[139] 针对单条微博的情感分类提出了一个分层分类器框架, 框架通过抽取对特定目标的微博, 将微博按情感类型分开以及分离正负情感类型微博三个层次进行有监督的分类学习; Hu 等^[140] 基于社交理论抽取微博之间的情感关系, 提出了一种全新的社会学方法使用这些情感关系以促进情感分类性能, 并有效解决了数据中的噪声问题; 同样受到社会学理论的启发, Guerra 等^[141] 依据人类通常会持有一致的带有偏执的观点, 提出了

全新的迁移学习 (transfer learning) 方法解决微博基于话题的实时情感分类问题; Thelwall 等^[122, 142]设计了 SentiStrength 情感分析工具, 用于对微博等社交媒体中非正式语言中的情感分析, 该工具是基于规则的方法, 使用了人工编辑的词典并结合了微博语言中的句法和拼写特点抽取微博中的情感强度, 该工具获得了广泛的应用。

以上这些工作通过利用微博的一些网络和语言特点对情感分类方法进行了适应性的改进, 以使得这些方法能够适用于微博语言环境, 但是没有彻底解决微博情感分类问题的语言环境依赖问题, 本章我们提出的方法从一个全新的视角来看情感分类问题, 将情感分类的特征空间分各位环境依赖部分 (context-dependent part) 和环境独立部分 (context-independent part) 分别进行训练分类器, 然后将两种分类器结合进一个自举式 (bootstrapping) 学习框架中。

4.3 问题的形式化

简单来说, 情感分类主要目标就是将文本分类为预先定义的情感极性类别 (一般是积极的, positive 或消极的, negative)。形式化上, 对于给定的文档语料库 $D = \{d_1, \dots, d_n\}$, 预定义的情感类别 $Y = \{1, -1 \mid \text{positive} = 1, \text{negative} = -1\}$, 情感分类的任务就是对每一个文档 d_i 预测一个类别标签 y_i 。为了与文本分类问题一致, 每个文档可以表示为一个特征向量 $x = R^n$, n 表示特征空间的大小对于情感分类问题来说, 对于每一个特征通常将其权重定为二值的, 1 表示特征在文档中出现, 0 表示没有出现^[135]。对于有监督的机器学习, 给定训练集 $D = \{x_1, \dots, x_m\}$, 可以学习到分类器:

$$f : D \longrightarrow Y, Y = \{1, -1\} . \quad (4.1)$$

对于未来文档 x , 同样将其表示为特征向量 $x = (w_1, \dots, w_v)$ (w_i 表示第 i 维权重), 就可以使用该分类器去预测其情感类别: $f(x)$ 。

在以往的情感分类研究中, 有一个潜在的假设, 就是用于表示文本的特征向量中所有的特征 (一般是词语) 在表达情感极性时作用是相同的, 也就是其出现与否可以在所有的文本中表达相同的情感。实际上这种假设是不成立了, 因为有些词语表达的是客观信息, 有些表达主观信息, 而且即便是表达主观信息, 作用也都不一样。因为有些词语无论用在那种领域或语境下都能表达同样的情感, 而有些词语只能在某些具体的语境下表达某种情感。以下面这条微博为例:

tweet: @Kid_Cloudz: Happy birthday to Yessicaaaa! :D lovee you feggitt wish you the best day everrrrr!!!! @030268.

以词袋模型 (bag-of-words) 为例, 所有的词语都应该抽取出来作为特征加入到特征向量中同等地用于对这条微博的情感倾向进行建模。然而, 仔细观察就会发现, 微博中有些词语 (@Kid_Cloudz, :D, lovee, everrrrr,!!!!) 实际上只能在微博这种语境中出现并且表达出某种情感倾向, 而另外一些词语 (Happy, birthday, wish, best, thanks) 无论在什么领域或语境下都是正面情感倾向的标识。基于这样的直观认识, 我们可以提出以下特征空间划分的假设:

定理 4.1 (假设): 特征空间划分假设: 对于微博情感分类问题的特征向量空间, 可以将其所有的特征划分为以下两个部分:

- 领域独立部分: 也就是通用的特征, 该部分特征在任何领域和语言环境下都是某种情感倾向的表达方式。
- 领域依赖部分: 也就是具体语言特征, 这部分特征只有在微博这种语言环境下才能有具体的语义和表达一定的情感倾向。

这个假设可以更加形式化的表示, 对于情感分类问题中一条微博的特征向量 $x = (w_1, \dots, w_l, w_{l+1}, \dots, w_v)$, 可以划分为两个部分:

$$x = \begin{cases} x_g & : \text{general features} \\ x_c & : \text{context features} \end{cases} \quad (4.2)$$

其中, $x_g = (w_1, \dots, w_l)$ 是特征向量空间的通用部分, 而 $x_c = (w_{l+1}, \dots, w_v)$ 是领域依赖部分。

基于以上假设, 情感分类问题可以进一步形式化定义为:

定义 (情感分类): 根据假设 (1), 情感分类问题可以表示为 (X_g, X_c, Y) , 其中:

- $X_g \subset R^d$ 和 $X_c \subset R^p$ 为两个输入特征空间, $d + p = n$, 分别表示两部分空间的维度;
- Y 为输出空间, 一般表示为二值空间 $Y = \{1, -1 \mid \text{positive} = 1, \text{negative} = -1\}$;
- 假设有一独立同分布 (independently identically distributed) 微博实例集合 $D = \{(x_i^g, x_i^c, y_i); i = 1 \dots m\}$, 该集合是从空间 $P = X_g \times X_c \times Y$ 中采样得到, 向量 x_i^g 表示实例领域独立部分特征, 向量 x_i^c 表示领域依赖部分特征, y 表示实例微博的情感类别;

实际上经过特征空间的划分提供了对于同一微博的两种不同的视角 (view), 因此可以将数据集 D 看作是 $D_g = \{(x_i^g, y_i); i = 1 \cdots m\} \in (X_g \times Y)^m$ 和 $D_c = \{(x_i^c, y_i); i = 1 \cdots m\} \in (X_c \times Y)^m$ 两种不同的集合, 因此对于集合 D 的情感分类问题可以视为构建两个分类器通用情感分类器 (General Sentiment Classifier) 和微博情感分类器 (Context Sentiment Classifier):

$$\begin{cases} \text{GeneralSentimentClassifier} : f_g : X_g \mapsto Y \\ \text{ContextSentimentClassifier} : f_c : X_c \mapsto Y \end{cases} \quad (4.3) \quad \blacksquare$$

当然基于部分特征空间的分类器性能上是否会降低还是一个值得研究的问题, 但是本章我们主要研究以下几个问题:

1. 对于从实例中抽取到的同一个特征空间, 怎么确定特征空间中领域依赖和领域独立两部分特征?
2. 得到不同的特征空间后, 使用什么样的训练数据集来训练得到两个不同的分类器?
3. 两种独立的分类器比同一空间分类器性能上会有什么样的变化, 如何将两种分类器结合起来达到更好的性能?

4.4 无监督的情感分类框架

在微博语言中, 除了正规的表达方式外, 一些语言因为比较难以理解而常被视为“火星文”, 尤其是对于不长使用微博的人来说对于一条微博中出现的一词语可能不理解其语义。但是整条微博的情感倾向性确能够比较容易读懂, 因为微博常常是正规表达方式和“火星文”混合在一起使用的, 理解了正规表达部分, 也就能理解了整条微博的情感倾向。直观上, 这种现象可以通过我们的特征空间分割假设来解释, 正规表达部分特征也能从一个不同的视角 (view) 来阐释整条微博的主观情感。而这些正规表达部分特征 x_g 是不以来于微博语境的, 对于任何人 (长使用微博的或是很少使用微博的) 都是易于理解的。

相似的, 对于微博的自动情感分类, 基于我们特征空间分割假设, 可以认为一条微博的情感倾向性可以通过两部分特征都识别出来。也就是说, 如果能够对一些通用的情感表达知识, 在某种程度上也能识别出一条微博的情感极性 (根据微博中正规表达方式的比率不同, 比率越大就越容易识别)。实际上有很多研究者已经开始研究如何建立各种情感词汇表来对这种通用的情感知识进行建模了, 比如我们前面章节的工作中提到的 OpinionFinder 词典^[117, 118]、ANEW 词典^[119]、

AFINN 词典^[120]、SentiWordnet^[121]、HowNet 情感词典^[111]、NTUSD 情感词典^[112]、情感词汇本体词库^[113] 以及我们的 SentiHowNet^[129]。虽然这些词典在尝试着建立通用的情感表达知识库，但是由于存在一词多义现象，使得一个词语的具体情感倾向性还是需要具体的语言上下文进行“消歧”。因此能够真正找到通用的资源来对跨领域情感知识进行建模不是一件容易的事。但是这样的知识资源却是存在的，比如成语和谚语等具有明确无歧义的情感倾向性，如何能够利用这样的知识资源对通用情感知识进行建模是本章研究的重点。

4.4.1 通用情感分类器

在语言资源中有许多对情感分类研究非常有用的资源，其中成语资源就是其中之一。成语（或谚语，本章中用成语通指这两种语言资源）无论在中文还是英文中都存在，比如中文的“空中楼阁”、英文的“bring down the house”（搏得满堂喝彩）等。这些成语的情感倾向性是固定不变的，不会随着领域或语境的不同而有歧义。这与我们的通用情感分类器需求十分契合，实际上有很多的专门针对成语编辑的词典资源，为通用情感分类器提供了很好的数据集进行训练。一般的成语词典的条目如下所示：

空中楼阁：贬义词，形容虚构的事物或不现实的理论、方案，脱离实际的理论、计划及空想。

在“空中楼阁：”条目中，有三部分组成：成语本身、情感倾向性（贬义，属消极情感）以及该成语的释义部分。其中释义部分有几个明显表示贬义的词语（虚构的、不现实、脱离实际以及空想）。该词条可以看作是给我们提供了一条带有通用情感知识的标注数据，释义中的词语可以看作通用部分特征 $\{x_i^g\}$ ，情感标签 y_i 就是成语的情感标签。由于成语的情感倾向是不依赖于任何领域和语境的，因此我们可以认为存在如下假设：

定义(假设): 每条成语条目可以看作是一条不依赖于任何领域的情感标注数据。

在假设 4.2 基础上，我们可以根据现存的成语词典构建一个训练数据集用于训练通用情感分类器 f_g ，该分类器用于对通用情感知识的建模。

4.4.2 微博情感分类器

由于通用特征只是全特征空间的一部分，在识别情感倾向时仅代表跨领域或语境的情感表达方式。在微博这种特殊的语言环境下，情感的表达通常有其独特

的方式，比如表情符、简写、以及故意不规范的拼写等等。为了能够更好的识别出微博中的细腻的情感倾向，必须要考虑微博中领域依赖部分的特征。

为了对微博情感特征的领域依赖部分进行建模，有两个问题必须考虑。首先是如何界定微博中抽取的特征中那些是领域依赖的特征。随着用户发布微博数量的急剧膨胀以及用户在语言使用上的自主性，一些微博特有的主管观点或情感的新的表达方式不断出现，并且同样使用一些通用词语，在特定的语境下也会出现不同于其固有的语义信息。不断涌现的新词和词语在上的语义变异使得界定领域依赖部分特征变得非常困难。但是众所周知，微博文本属于短文本，每条微博都有字数上的限制（一般是要求 140 字以内），因此用户在一个微博中表达就某件事情表达某种情感倾向时，除了描述事情所用词语外，只能够用很少的词语描述情感倾向。因此我们可以假设，如果一条微博中含有某个成语或谚语，如果没有否定词，整条微博的情感倾向可以看作是和成语或谚语的情感倾向一致，并且除成语外的其他词语形成的情感特征可以视为领域依赖特征。第二个问题是如何找到足够的标注数据来训练得到依赖于微博特征的微博情感分类器。之前有些研究提出了远监督（distant supervision）方法来解决微博标注数据缺失的问题^[143, 144]，主要是基于微博中含有明显的情感倾向的一些表达方式（比如表情符）为基准来发现一些含有噪声的微博作为训练数据。我们也是利用这样的思想，但是我们利用成语资源作为我们的情感表达基准，找到包含成语的微博（过滤掉含有否定词的部分）作为微博依赖的情感分类器的训练数据。

4.4.3 分类器的组合

我们的一个基本假设就是认为用户在表达一种主观情感时可能会使用不同的表达方式，一是可以使用通用的情感词语，另外也可以使用微博特有的一些表达方式，更有可能会混合使用通用词语和微博上流行的特有的表达。因此我们可以将其情感表达的特征空间划分为通用特征和领域依赖特征，主要目的是将相同的信息从相互补充的两种视角（view）来分析，以训练不同的分类器达到更好的效果。虽然理论上两个分类器都能对微博达到情感分类的效果，但是性能会受到训练数据的数量和质量的制约。很明显的，无论是成语的释义还是微博文本，都是比较短小的，而且微博常常会有噪声，因此从这样的数据抽取的特征向量会比较稀疏，对分类器的性能造成影响。为了克服这些困难，我们提出了一个自举式（bootstrapping）的学习框架将两种分类器组合在一起，相互补充，通过优化，发挥二者的最大效能。框架如图~4.1所示。

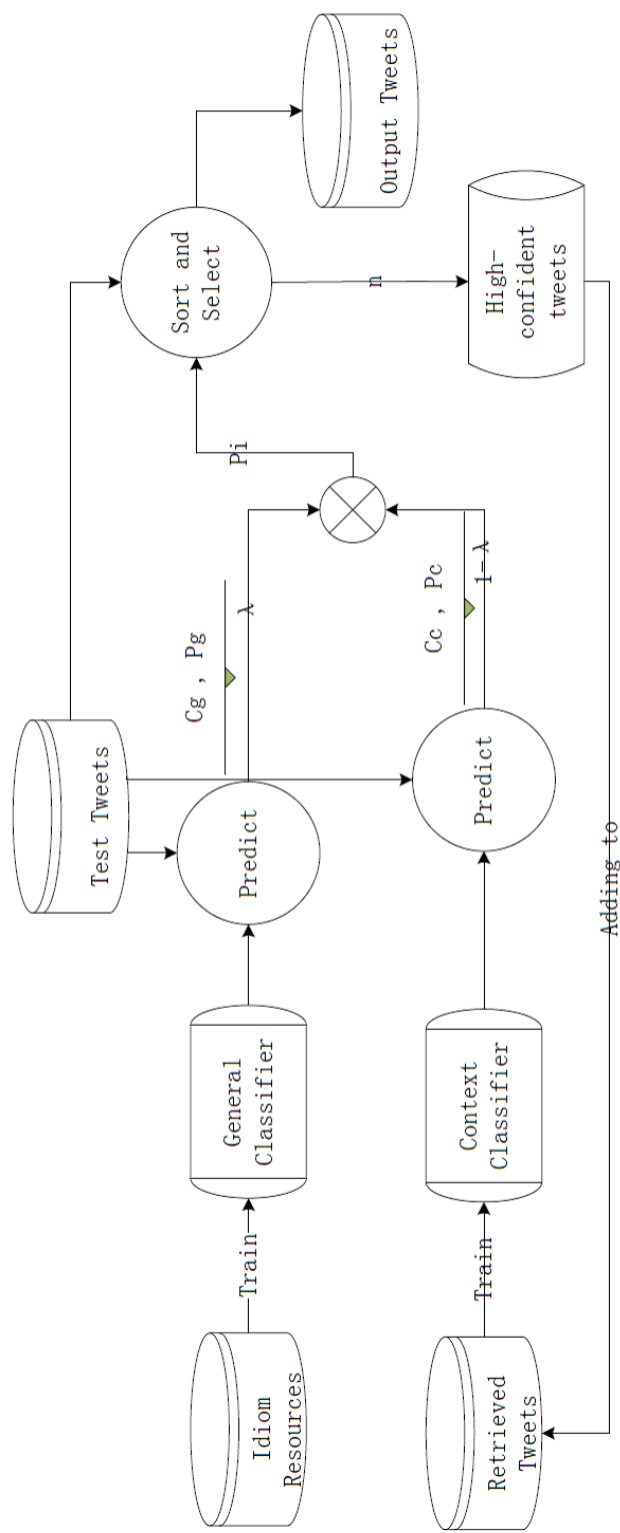


图 4.1 自举式学习框架

该框架中，我们要通过不断迭代训练学习到通用情感分类器 P_g 和微博情感分类器 P_c ，使得这两个分类器不但从单个视角达到分类性能的最优，也需要在对相同的测试数据上分类结果一致，组合性能能够提高。根据使用的分类器的不同，我们假设可以将分类器的输出用 $\{p_g, p_c\}$ 来表示（例如 SVM 的距离输出或生成模型的概率输出）来表示分类结果的可信度。对于每一个待分类测试数据，首先使用两个情感分类器对其进行分类，预测其情感倾向性标签为 $c_i = \{c_g, c_c\}$ ，并输出可信度 $p_i = \{p_g, p_c\}$ ，然后将可信度按照公式~4.4合成为一个：

$$p_i = \begin{cases} \lambda * p_g + (1 - \lambda) * p_c & \text{if } c_g = c_c; \\ 0 & \text{if } c_g \neq c_c; \end{cases} \quad (4.4)$$

其中 λ 是控制不同部分特征影响权重的系数，首先将其初始化为 $\lambda = 0.5$ ，然后随着迭代的进行逐步增加 λ 以使得组合起来的分类器逐步适应针对微博的情感分类。根据两个分类器对每个测试数据预测情感标签 c_i ($c_i \in \{1, -1\}$)，将测试数据分为两组，并分别按照预测输出的组合可信度的降序排列。在排序的两组数据中分别取其前 n 条可信度最高的微博数据作为新的依赖于微博语境的微博情感分类器的训练数据加入到训练集中，以逐步提高该分类器对微博情感分类的适应性。这样的过程循环多次进行迭代，直至所有数据的情感分类组合可信度的变化因为小于某个指标而收敛。

总体来说，整个框架可以被视作是一个自举式（bootstrapping）共同训练（Co-training）^[144] 机器学习算法过程，所不同的是该框架并没有使用标注好的训练数据，而是从现成的成语词典资源作为训练的起始点，是一个无监督的学习框架，因此节省了人工或自动标注微博数据的过程，对于数量庞大的微博数据来说，该框架更加实用。

4.4.4 分类器算法

对于两个分类器，我们采用跟 Pang 等 [135] 文章中一样的三种机器学习算法：朴素贝叶斯（Naïve Bayes）算法，最大熵（Maximum Entropy）算法以及支持向量机（Support Vector Machine）算法。这三种算法的有效性已经得到 Pang 等 [135] 的验证，其中支持向量机取得的性能是最好的（准确率达到 82.9%）。

4.4.4.1 Naïve Bayes 分类器.

Naïve Bayes 在文本分类任务中是最常用的分类器。对与情感分类问题，为了确定一篇文档 d_i 的情感倾向性类别 c_j ，需要计算后验概率 $P(c_j | d_i)$ 。根据贝叶斯法则和多项式分布，基于每一维特征概率的独立性假设，可以得到：

$$P(c_j | d_i) = \frac{P(c_j) \prod_{k=1}^{|d_i|} P(w_{d_i,k} | c_j)}{\sum_{r=1}^{|C|} P(c_r) \prod_{k=1}^{|d_i|} P(w_{d_i,k} | c_r)} . \quad (4.5)$$

通过计算每一情感类别的后验概率，概率最大的可以视为文档 d_i 的情感类别。

4.4.4.2 最大熵分类器.

最大熵 (Maximum Entropy) 分类器与 Naïve Bayes 分类器一样也是通过计算后验概率来判断文档的情感类别，所不同的是最大熵分类器是计算条件概率：

$$P(c_j | d_i, \vec{\theta}) = \frac{1}{Z} \exp(\vec{\theta} \cdot \vec{f}(d_i, c_j)) . \quad (4.6)$$

其中 $\vec{\theta}$ 表示特征向量， $\vec{f}(d_i, c_j)$ 表示将训练实例 (d_i, c_j) 映射到特征向量空间的特征函数， Z 是归一化因子。最大熵分类器用训练数据集 D 的训练学习过程就是一个最优化问题：

$$\vec{\theta}^* = \underset{\vec{\theta}}{\operatorname{argmax}} \prod_{i=1}^{|D|} P(c_j | d_i, \vec{\theta}) . \quad (4.7)$$

4.4.4.3 支持向量机分类器.

支持向量机 (Support Vector Machines) 分类器是一种判别式的机器学习方法。支持向量机分类器的训练过程发现一个支持向量确定的决策平面将在训练数据能够分为两类，然后使用支持向量确定测试数据的类别。训练过程是接一个受限的最优化问题：

$$\begin{aligned} \vec{\alpha}^* = \underset{\vec{\alpha}}{\operatorname{argmin}} & \left(- \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j x_i x_j < \vec{x}_i, \vec{x}_j > \right) \\ \text{Subject to: } & \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0, 0 \leq \alpha_i \leq 1 \end{aligned} \quad (4.8)$$

情感分类问题通常使用线性支持向量机分类器。

4.5 实验

为了验证所提出框架的性能，我们使用一部现成的在线成语词典和从腾讯微博¹中抓取的数据进行了一系列的实验。

¹<http://t.qq.com/>

4.5.1 实验描述

4.5.1.1 数据集

我们从成语覆盖比较全的中国教育在线网²上抓取了在线的成语词典，经过整理的到了有 8,160 个条目的成语词典，其中褒义的（正面情感倾向）的成语有 3,648 条，贬义的（负面情感倾向）的成语有 4,512 条，我们使用这些数据训练通用情感分类器。微博情感分类器的训练数据是通过腾讯微博公开 API 抓取的数据，从 2013 年四月 15 日开始到五月 15 日一个月的时间我们监控腾讯微博的实时数据流，查询抓取了至少含有一条成语的微博数据，形成 120,346 条微博数据的数据集。经过筛选过滤掉噪声和过短的数据，最后得到 91,268 条微博数据集用于训练微博情感分类器。为了测试我们所提出的两种分类器组合形成的自举式分类器的性能，我们使用了中国计算机学会（CCF）举办的第一届自然语言处理与中文计算会议（Natural Language Processing and Chinese Computing）中的微博情感分析与语义关系抽取评测（the First Chinese tweet Sentiment Analysis and Semantic Relationship Extraction Evaluation）³的标注数据集作为测试数据。

4.5.1.2 实验配置

为了能够多角度测量分类器的性能，有各种评测指标，但是我们的实验不是为了比较这些评价指标的不同，因此我们选择了简单直观的准确率作为分类器性能的评价指标。对于分类器，我们选择了自然语言处理的工具 NLTK（Natural Language ToolKits）^[145] 中的 Naïve Bayes 分类器和最大熵分类器，以及常用的 Libsvm^[146] 工具包的支持向量机分类器。分类中所有的参数设置都经过交叉验证进行了优化。

4.5.1.3 评价基准

为了客观评价我们的方法的性能，我们设置了三个评价基准用于对比评价。一个是 50% 的基准，因为我们所用的测试数据集是平衡数据集，所以即便是随机判断的分类器的准确率可以达到这样的准确率；第二个是用一个基于情感词典的情感分类器的准确率作为基准，我们使用的是前面两章构建的 SentiHowNet 情感词典，通过计算每条微博中的包含的情感词语情感值叠加来计算综合情感值，然后判断微博的情感倾向性；第三个基准是有监督的机器学习方法构建的情感分类器，我们按照 Pang 等 [135] 文章中的方法使用测试数据通过 5 倍交叉验证方式训练了朴素贝叶斯（Naïve Bayes）、最大熵（Maximum Entropy）以及支持向量机（Support Vector Machine）分类器，把三种分类器的在测试数据集上的准确性作为基准。

²China Education Network: <http://chengyu.teacher.cn.com>

³http://tcci.ccf.org.cn/conference/2012/pages/page04_eva.html

4.5.1.4 数据预处理

中文文本信息不像英文那样靠空格自然形成了词语结构，因此需要对中文进行分词预处理才能进行词袋特征的抽取。我们使用常用的中科院 ICTCLAS⁴分词软件上述所有数据进行分词处理，并进行了停用词过滤。

4.5.2 实验结果

为了确定公式 4.4 中的 λ 值，我们从 0 到 1 对 λ 值进行了遍历实验，每一遍历步 λ 值增加 0.1，实验结果如图 4.2 所示。

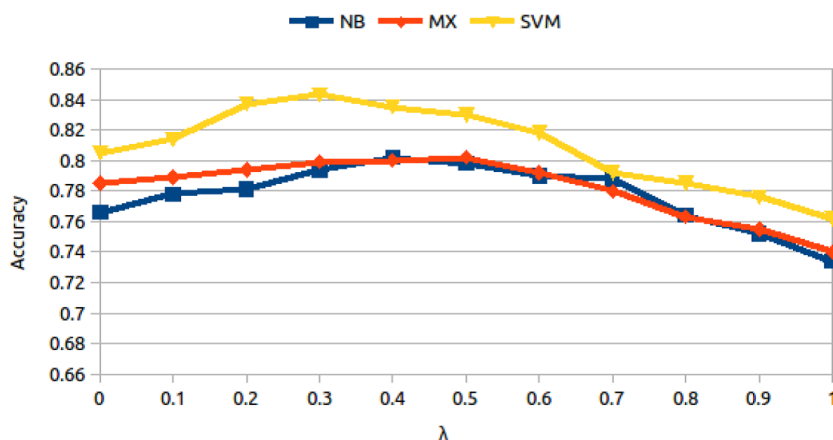


图 4.2 λ 值的确定。

从图中可以确定对于三种分类器所确定的 λ 值：对于 Naïve Bayes 分类器， $\lambda = 0.4$ ；对于最大熵分类器， $\lambda = 0.5$ ；对于支持向量机分类器， $\lambda = 0.3$ 。

确定了 λ 后，经过自举式的学习训练，并在测试集上评价，最后的结果如表 4.1 所示。

表 4.1 结果对比表

Classifier	NB	MX	SVM
Lexicon Classifier	0.725	0.725	0.725
Supervised Classifier	0.785	0.806	0.826
General Classifier	0.734	0.740	0.762
Context Classifier	0.766	0.785	0.805
Combined Classifier	0.802	0.802	0.843

从表中可以看出，首先无论是通用情感分类器还是微博情感分类器，性能上都超过了随机基准的 50% 准确率，这证明了无论是从那种视角进行分类，两种分

⁴<http://ictclas.nlpir.org/>

类器都是有效的，胜过随机猜测。因此在没有任何标注数据来训练有监督或半监督分类器的情况下，我们的特征分割假设可以作为情感分类的一种有效的方法。

其次，通用情感分类器的准确率比基于情感词典的分类器要稍微好些，这是因为尽管通用情感分类器和基于词典的分类器都使用领域独立的词语来对情感知识进行建模，但是通用情感分类器是经过成语等知识资源所抽取的特征空间进行训练的，而情感词典中的词语都是独立使用并且还是具有一定的歧义；而对于微博情感分类器，准确率都比基于词典的分类器和通用情感分类器要好，因为它是使用微博依赖部分的特征训练得到的，更能使用微博语言环境，测试数据中出现的微博的“火星语言”越多越能体现出微博情感分类器的性能优越性。

最后，使用自举式学习框架的组合分类器显示出了最好的性能，因为它结合了通用分类器和微博分类器的综合性能，其准确率也超过了准确率比较高的有监督的分类器，这说明我们提出的方法既能很好的利用通用情感表达知识把握微博的总体情感倾向，也能照顾到微博特有的情感表达方式，准确掌握微博中细致的情感倾向。

4.6 小结

本章中我们针对情感分类的领域依赖性问题的提出了无监督的自举式学习框架，并在微博中进行了验证。通过将情感分类问题的特征空间进行多视角分割，将整个特征向量特征空间分为领域独立的通用特征部分和领域依赖的微博特征空间，因此可以在两个特征空间分别训练得到通用情感分类器和微博情感分类器。然后我们使用了自举式的机器学习框架将两种分类器组合起来，达到更好的分类效果。实验证明我们所提出的方法性能上超过了现有的主要一些情感分类方法。

第五章 用户主观性建模

5.1 引言

随着基于内容的社交媒体的兴起，越来越多的用户开始愿意在这些社交媒体比如 Twitter 上针对各种话题发表短的文本信息表达意见和观点。因此这些社交媒体的文本数据中蕴含的广泛的话题、各种讨论以及丰富的主观性信息成为研究社交媒体用户的主观性珍贵的资源。在本章中我们所说的主观性是指用户感兴趣的话题（产品、政治人物和事件等等）以及用户对这些话题所持观点。使用社交媒体数据研究用户的主观性反过来也会有利于社交媒体的应用，比如用户观点查询、观点追踪或者用户行为的预测等。然而社交媒体产生的数据是巨大的，并且用户的主观性信息散播在“碎片化的信息”中，使得从这些数据中挖掘和消化各种不同用户所有的观点变得极具挑战性。例如，如果在 Twitter 中查询“iphone”（由于 Twitter 数据的实时流动性，不同时间查询会有不同的效果，我们的查询日期为 2014 年 2 月 14 日），会返回大概 231,233 用户的 830,879 条微博（tweet，本文中我们统称为微博），意味着很多用户发表了不少一次微博来表达对“iphone”的观点。因此为了能够更好的了解到不同用户各种不同的观点，需要能够自动从用户发表的所有内容中（UGC）挖掘出“碎片化的观点”，将这些主观性信息进行集成（integrate），然后呈现出用户对于某些感兴趣话题的主要观点^[147]。实际上用户感兴趣的话题会有很多，因此发表的内容也是多种多样的，因此如何从一条条独立的“信息碎片”中找到用户感兴趣的话题以及观点对主观性信息研究来说是很有意义且极具挑战的。

本章中我们针对这一用户的主观性建模问题提出了主观性模型，该模型分为两部分，使用一个框架将话题和观点结合起来。其中一部分是用户的兴趣话题分布，用于对用户对各种话题的兴趣建模；另一部分是用户在每个话题上的观点的分布。具体来讲，图 5.3 展示了框架的总体结构，该框架通过三步来解决用户话题观点集成问题：（1）首先使用用户层次的话题模型（user-level topic model）从用户发表的微博（我们以 Twitter 平台为例，当然我们的框架也可以适用于其他平台）中抽取出用户感兴趣的话题；（2）使用得到的话题模型和情感分析技术对用户每条微博进行话题和观点的分析；（3）综合并集成用户所有微博的话题与观点信息形成用户的主观模型。我们可以通过

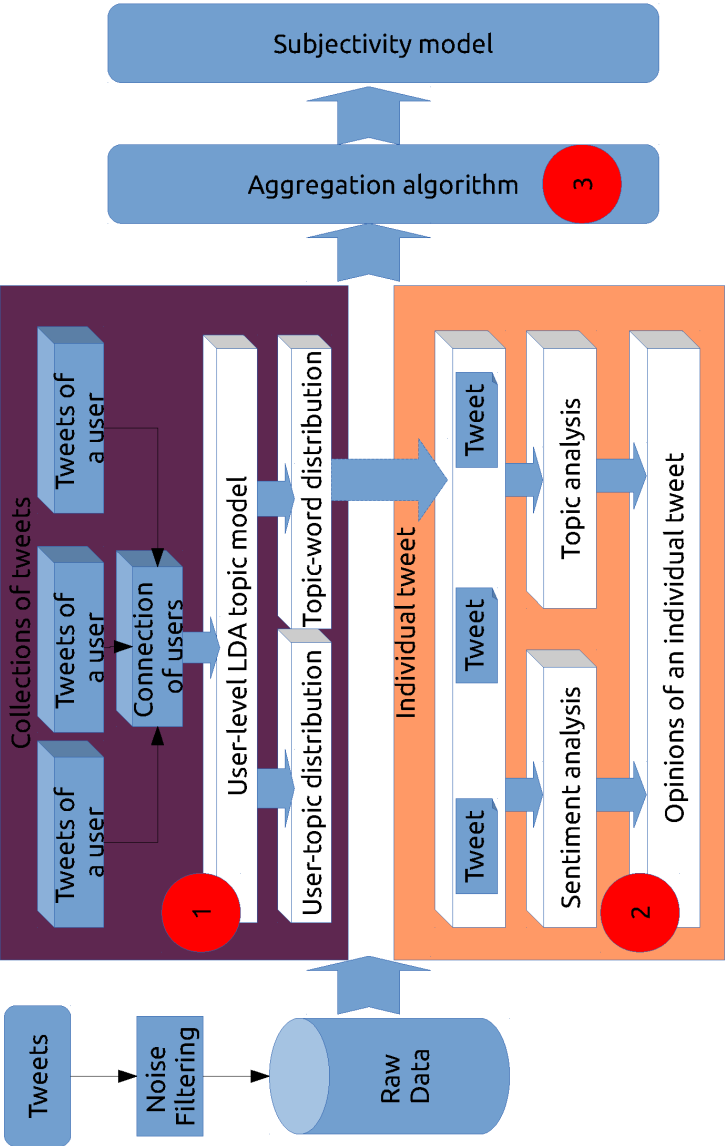


图 5.1 主观模型总体框架.

5.2 相关工作

虽然观点挖掘 (opinion mining) 最先是针对产品评论 (review) 和新闻评论 (news comment) [13, 15], 近年来越来越多的研究工作开始关注于 Twitter 等短文本社交媒体, 主要是针对单个短文本进行情感分析[136, 148–151], 往往忽视了用户之间与数据之间的关系。也有一些前期工作研究自动挖掘用户层次的主观性信息[152, 153], 通常是着眼于识别用户发表观点的目标[154] 或是针对特定目标确定用户的情感倾向性[155], 而没有考虑到话题的每个方面 (aspect)。自从 Blei 等[156] 发表了潜语义话题模型 (Latent dirichlet allocation, LDA), 已经有了各种扩展的 LDA 模型用于从大规模语料中抽取用户的话题[157, 158], 也有很多模型将情感分析与话题模型想结合形成话题-情感 (topic-sentiment model) 模型, 这种模型将情感倾向与话题关联起来, 与我们提出的主观模型很相似, 主要有 Mei 等的 TSM 模型[159] 和 Lin 等的 JST 模型[160]。

随着用户在社交媒体上公开信息的增多, 研究者能够获得越来越多的数据对用户建模, 通过这些用户模型使得研究用户行为等研究更加容易。Hannon 等[161] 首先提出使用微博内容以及 Twitter 的社交网络关系对 Twitter 用户进行建模。Macskassy 和 Michelson[162] 使用 Wikipedia 作为外部知识库确定用户产生内容中的实体来对用户兴趣进行建模。Ramage 等[163] 使用 4S 维度利用话题模型对用户的微博及你想那个分析建模, 得到的模型在信息过滤和朋友推荐等应用中显示出了很好的效果。Xu 等[164] 提出了一个混合模型用于分析用户的发帖行为, 混合模型将突发新闻、朋友发帖以及用户兴趣三个重要因素结合在一起。Pennacchiotti 和 Popescu [165] 提出了一个全面的方法对用户建模用于用户分类任务, 确认了从用户产生内容中挖掘深入的特征的价值, 方法反映了对用户及其网络结构的深入理解。

上述这些工作都确认从用户自己发布的内容中挖掘关键信息的重要性, 并且开始从四方面信息进行建模, 即基本信息 (“Who you are”), 发帖行为 (“How you tweet”), 发帖内容 (“What you tweet”) 以及网络关系 (“Who you tweet”), 但是很少能够对用户的兴趣和观点进行综合建模, 也就是全面反映用户的主观性, 本章中我们将提出主观模型对用户的主观性进行综合建模。

5.3 观点集成问题

正如我们在引言部分所介绍, 用户在使用社交媒体平台的时候通常会就感兴趣的多个话题的多个方面多次发表自己的观点。因此要确定一个用户在某个话题上观点不能只看他的一条微博, 应该将他所有与特定话题相关的微博中的主观信息进行综合才能得出用户的真正观点。在本章我们提出观点集成问题 (Opinion

Integration Problem (OIP) 来对用户的主观性进行建模，我们主要关注用户层次 (user-level) 观点信息，而不是单个微博层次 (tweet-level) 的观点信息，因为观点挖掘的最终目标是找到人的主观想法而不只是单条微博中的主观信息，而对单条微博中观点的挖掘只是对用户主观性建模的一个中间步骤。此外，很多情况下用户的单条微博中的观点信息因为受到长度限制以及上下文语境的缺失是不明确的，但是通过看用户的所有微博就可以知道他的明确的观点^[151]。

我们所提出的话题相关的观点集成问题 (OIP) 可以使用图 5.2 进行说明。

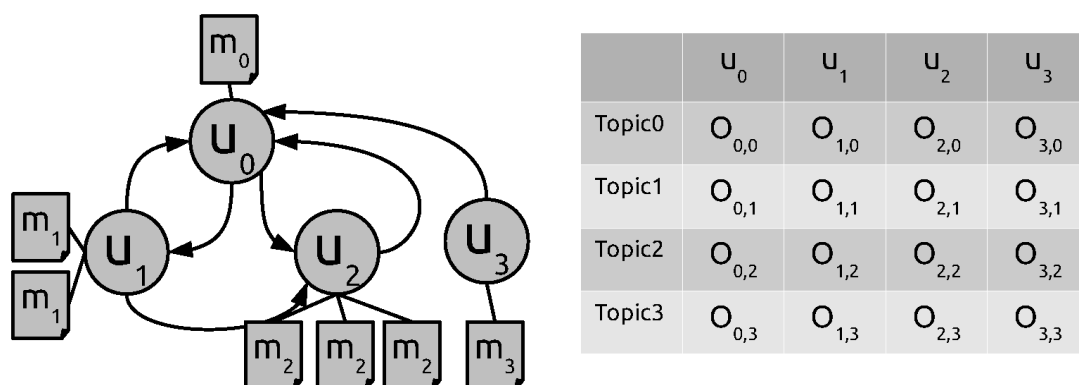


图 5.2 观点集成问题示例。

我们给出观点集成问题的正式定义：

定义 (观点集成问题): 如图 5.2 所示，假设 Twitter 上的一个异构网络 (heterogeneous network) 由用户集 $V = \{u_i\}$ ，用户关系集合 $E = \{(u_i, u_j) | u_i, u_j \in V\}$ 以及用户发表的相应微博集合 $M_i = \{m_i\}$ 构成，其中用户所关注的话题 $T = \{Topic_j\}$ 以及用户对话题的观点可以从用户自己发表的微博中确定和抽取出来。对于一个特定用户 u_i ，其对特定话题 $Topic_j$ 的观点 $O_{i,j}$ 不是他某条微博 m_i 中包含的观点，而应该是从他所有微博中与话题 $Topic_j$ 相关的所有微博 $M_i = \{m_i\}$ 中集成得出的。

对观点集成问题有两点因素必须考虑：首先为了观点针对目标的一致性，异构网络中无论是用户还是微博谈及的话题必须是在同一个话题空间，以使得无论话题的表示形式（比如概念 (concept) 表示或是话题模型的词袋向量空间的多项式分布表示）还是粒度都能够标准规范；其次，也是最重要的，就是集成的观点的表示形式问题，由于观点是与话题紧密相连的，一个用户针对某话题所发表的所有微博会覆盖与话题相关的所有方面，并且对于不同的方面会有不一样的喜好，比如对于手机 “iphone”，用户可能喜欢它好看的外观和智能化操作系统，却不喜欢电池的待机时间过短，因此采用什么样的形式表示集成后的观点能准确表达出用户的总体主观性是一个十分重要的问题。本章中我们提出一个全新的通用主观模型来满足以上两个因素。

5.4 主观模型

心理学已经对主观性进行了广泛的研究，并基于用户的历史行为和言论中体现出的主观性来表示其独特个性^[166]。在语言学上，语言中的主观性定义为作者在其发表的文本中表现出自己的立场、态度和情感^[167]。社交媒体的出现为用户提供了一个能够及时自主针对感兴趣话题表达自己意见以展现自己独特主观性的发帖平台，因此在社交媒体平台上，用户的”**主观性**“，我们定义为用户产生内容中话题和对话题的观点，因为主观性不但涉及到观点信息，也应该包含观点的目标。

在这一节，我们首先给出主观模型的形式化定义以满足提出的观点集成问题的需求。一般来讲，用户层面的观点分析是将用户针对某话题的情感倾向性分为”正面的 (positive)”或是”负面的 (negative)”。“正面的”表示该用户对话题支持或者喜欢该，而”负面的”表示不支持或不喜欢。我们所提出的主观模型中采用了更加通用 (general) 的”观点”定义，也就是观点针对某话题观点是在一个带有情感强度的更细粒度的情感表达空间里的情感分布，这个细粒度的情感表达空间可以更好的区分细微的观点差别，比如对话题持支持度为 8 的观点比支持度为 5 的观点更加”正面 (positive)“。其实对观点的定义还没有统一的标准，我们采用这种比较广义的定义是为了能使得我们的模型能够更加通用。本章中为了具体化，我们统一在 Twitter 平台对主观模型进行定义和讨论，其实该模型可以适用于其他的平台或媒体。之所以将模型命名为”**主观模型**“是因为它是对社交媒体中用户产生数据中的主观性信息进行建模。模型的定义如下：

5.4.1 模型定义

假设 $G = (V, E)$ 表示 Twitter 上某个异构社交网络，其中 V 是网络中的用户， $E \subset V \times V$ 是用户之间的关注关系 (follow relationship)。对于每一个用户 $u \in V$ ，对应的微博集合 M_u 表示其发帖的历史。可以认为在这个社交网络中存在一个话题空间 T 包含了 V 中所有用户谈论的所有话题，以及某个情感强度值空间 S 用于表示用户对某话题的观点。对于用户 $u \in V$ 的”**主观性 (subjectivity)**“，指的是用户所发表的微博 M_u 中所涉及的所有话题以及观点。

定义 (主观模型): 用户 u 的主观模型 $P(u)$ 是用户在话题空间 T 中所谈论话题 $\{t\}$ 以及他对每个话题所持有的观点 $\{O_t\}$ ，观点用情感强度空间 S 的情感分布表示。

$$P(u) = \{(t, w_u(t), \{d_{u,t}(s) | s \in S\}) | t \in T\} \quad (5.1)$$

其中：

- 对于用户 u ，权重 $w_u(t)$ 表示其在话题空间中每个话题 $t \in T$ 的兴趣强度，并且 $\sum_{t=1}^{|T|} w_u(t) = 1$ 。
- 用户 u 对每个话题 t 的观点 O_t 指其对话题所持情感在情感强度空间 S 的分布 $O_t = \{d_{u,t}(s) | s \in S\}$ ，并且 $\sum_{s=1}^{|S|} d_{u,t}(s) = 1$ 。 ■

主观模型通过将用户感兴趣话题与观点同时考虑对用户的主观性进行建模，用户兴趣使用一个话题分布表示，对话题的观点用一个情感强度分布表示，主要目标是为了研究用户层面的观点信息，获得用户兴趣和主观思想的比较全面理解。

5.4.2 主观模型的构建

根据主观模型的定义，我们使用了两个分布对用户的主观性进行建模：一个是话题分布，一个是针对每个话题的观点分布，二者都需要从用户发布的历史数据中经过计算推断得出。然而对 Twitter 数据进行内容分析面临一些挑战：Twitter 上微博数量十分巨大，但是每条微博由于受限于 140 字的限制而很短小，并且各种不规范的语言被广泛使用，这些都很容易使得机器学习方法和自然语言处理技术失效^[14]。因此能够有效的对 Twitter 的数据内容进行建模处理需要一些能适应这些挑战并且尽量不使用有监督的方法技术。本章中，我们主要使用一些无监督的方法从用户产生数据中挖掘话题和观点信息来构建用户的主观模型。我们提出了一个通用的框架来构建主观模型，该框架的主要优势就是利用 Twitter 的社交网络结构来帮助克服微博短文本造成的稀疏问题以及微博中标注数据的不足^[168]。

5.4.2.1 话题分析

微博所涉及的话题一般是隐含的需要从其内容中推导得出。先前的研究主要是通过找到关键词 (key words)^[169]，抽取实体 (extracting entities)^[170]，链接到外部知识库 (external knowledge categories)^[162]，或者使用语义框架 (semantic framework)^[171]。对于这些方法来说，一个主要的问题是稀疏问题，因为同样涉及到同一个话题用户人然会使用各种不同的词汇来表达。在话题模型出现后，对于 LDA^[156] 及其扩展的研究工作^[172] 显示出对微博语料更加有效。LDA 的话题在概念上更加宽泛，因为 LDA 的每一个话题都是由所有相关的词语所构成。因此我们采用了用户层面 (user-level LDA) 话题模型来从用户所有的微博中发现隐含的话题，该模型的生成过程可以使用图 5.3 来示意。

生成过程如下：

- 对每个用户 u ，获取话题分布 $\theta_u \sim Dir(\alpha)$ ；
- 对用户微博中的每个词语 $w_{u,n}$ ， $n \in \{1, \dots, N\}$ ：

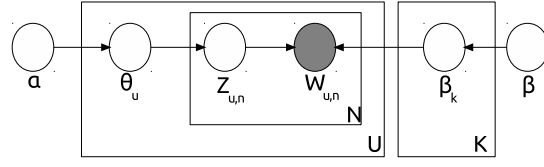


图 5.3 用户层面 LDA 话题模型

- 获取一个话题 $z_{u,n} \sim \text{Multinomial}(\theta_u)$;
- 基于话题 $z_{u,n}$, 从话题的多项分布中获取词语 $w_{u,n}$:

$$p(w_{u,n}|z_{u,n}, \beta_k)$$

;

为了从用户产生的内容中提取出讨论的话题，用户所发的微博应该和 LDA 模型的文档自然对应起来。由于我们的目标是了解用户感兴趣的话题而不是单条微博谈论的话题，所以我们将一个用户所有的微博连接起来组成一篇大的微博文档作为 LDA 模型的文档。因此 LDA 模型中的一篇文档就对应于一个用户，因此一个用户感兴趣的话题就可以使用在话题空间的一个多项式分布来表示，正好可以和我们的主观模型的话题权重相对应。在用户层面的 LDA 模型中，给定用户集合 V 以及话题数目 K ，一个用户 $u \in V$ 的所有微博文档可使用话题上一个多项分布 θ_u 来表示，该分布具有参数为 α 的 Dirichlet 先验分布；一个话题 $k \in K$ 可以用所有词汇上的一个多项分布 β_k 来表示，该分布具有参数为 η 的 Dirichlet 先验分布。模型中的两个分布能够使用 Gibbs 采样或变分推理 (variational inference) 进行估计。本章中我们使用的是基于变分推理的话题模型工具 Gensim^[173]，该工具使用的是在线批处理模式的变分推理，而且能够对新文档进行话题推理。

5.4.2.2 观点分析

微博用户经常会通过发表一些跟自己感兴趣话题相关的微博来表达自己的观点，因此为了挖掘微博用户的主观信息，我们需要了解用户每条微博蕴含的情感倾向，这需要情感分析技术。情感分析主要有基于规则以及机器学习两种方法。机器学习的训练过程需要大量标注数据，因为 Twitter 的庞大的数据量以及语言的动态性不太可能达到这样的要求，因此我们采用基于规则的方法，基于规则的方法具有很好的灵活性，可以将 Twitter 语言的一些特点转换成为规则而更适用于 Twitter^[137, 142]。

SentiStrength 是专门针对社交媒体中的不正规短文本进行情感分析的工具包^[142]。SentiStrength 将对应于社交媒体语言的规则结合进了基于词典的方法，非

常适用于我们能够对微博进行情感分析的要求。SentiStrength 对每条微博情感分析后赋予两个情感值：一个正面情感倾向强度值（在 $[1, 5]$ 范围内）和一个负面情感倾向强度值（在 $[-5, -1]$ 范围内）。SentiStrength 情感分析的输出不是简单的正负倾向二值结果，而是细粒度的情感强度值，正好符合主观模型能够获得细粒度情感空间上情感分布的需求。为了计算的方便，我们将 SentiStrength 的两个输出结果映射为一个值，使用 $[0, 8]$ 的离散整数值表示情感的强度，映射函数为：

$$o = \begin{cases} p + 3 & \text{if } |p| > |n| \\ n + 5 & \text{if } |n| > |p| \\ 4 & \text{if } |p| = |n| \end{cases} \quad (5.2)$$

其中 p 代表 SentiStrength 输出的正面情感倾向值， n 代表负面情感倾向值。在 $[0, 8]$ 情感空间中，强度值 4 和 5 表示中性（neutral）情感，强度值大于 5 表示正面情感倾向，强度值小于 4 表示负面情感倾向。使用 SentiStrength 对用户的每条微博进行情感分析后，就可以 $[0, 8]$ 情感空间内在进行观点的集成了。

5.4.2.3 构建主观模型

对用户微博进行话题分析以及情感分析后，我们就可以为用户开始构建主观模型了。对于一社交网络的用户集合 V ，用 $M_u = \{m_i\}$ 表示每一用户 $u \in V$ 所发布的所有微博。按照用户层面 LDA 话题模型要求，将 M_u 中所有微博连接在一起形成一片长的微博文档 d_u ，然后可以用这些微博文档 $\{d_u | u \in V\}$ 使用 LDA 话题模型进行训练获得话题个数为 K 的话题空间。训练得到的话题模型用参数 θ 表示每个用户在话题空间 T 中感兴趣的话题的分布，参数 β 表示每个话题在所有微博词汇上的分布。使用 SentiStrength 对每个用户的每条微博 m 进行情感分析得到每条微博的情感强度 s_m 。于是对用户 u 构建主观模型 $P(u)$ 的过程如算法 5.1 所示：

算法中，由于微博的短小，我们简单假设微博 m 的情感 s_m 是针对微博所讨论的所有话题 Z_m 的，并没有区分针对不同话题的不同观点。

5.4.3 与生成模型比较

前期研究中提出了一些基于话题模型的生成模型，能够扩展基本的话题模型将文档中表达的情感与话题结合统一建模^[159, 160]。TSM 模型（Topic Sentiment Mixture model）^[159] 认为文档中表示情感等主观信息的语言与描述话题的语言是独立的，因此可以将表示情感的语言模型跟表示话题的语言模型分开，在文档的生成过程中词语要么从话题中要么从情感中采样获得。JST 模型（Joint Sentiment/Topic model）^[160] 提出了一种新的方式来分析文档中的情感信息，使用话题模型抽取话

算法 5.1 主观模型的构建过程**已知:**The users set of a local network, V ;The tweets set published by each user u , M_u ;**求:**The subjectivity model for each user u , $P(u)$;Topic analysis with a user-level LDA, getting a topic model $P(\theta, \beta | M_u, V)$;**for all** tweet $m \in M_u$ **do**Sentiment analysis, outputting sentiment of m , s_m ;**end for****for** user $u \in V$ **do**the topic distribution is the corresponding component of parameter θ , θ_u ;the topics he tweets about are $Z_u = \{t | p(t | \theta_u) > 0, t \in T\}$;**end for****for** tweet $m \in M_u$ **do**topics of m can be identified by the topic model:

$$Z_m = \{t | p(t | \theta, \beta, Z_u) > 0, t \in T\}. \quad (5.3)$$

end for**for** each topic $t \in Z_u$ **do****for** sentiment value $s \in S$ **do**count the number of tweets which talk about topic t with sentiment value s : $N_s = \sum_{m \in M_u} I(s_m), \text{ if } s_m = s \& t \in Z_m$;**end for**calculating opinion towards topic t : $O_t = \left\{ \frac{N_s}{\sum_{s \in S} N_s} | s \in [0, 8] \right\}$.**end for**establishing subjectivity model of user u :

$$P(u) = \left\{ \left(t, p(t | \theta_u), \left\{ \frac{N_s}{\sum_{s \in S} N_s} \right\} \right) | t \in Z_u, s \in S \right\}. \quad (5.4)$$

return $P(u)$;

题过程中将话题和情感关联起来，因此可以同时对话题和情感信息建模。这些模型在发现话题相关的观点信息时跟我们提出的主观模型是很相似的，都能同时对用户的感兴趣话题以及话题相关的观点建模。

但是他们通常需要通过学习获得一个通用词语-情感分布来对文档中的情感建模，这对短小和不正规的社交媒体语言尤其是 Twitter 来说是困难的。相较于话题的表达，情感等主观信息更难发现， u 因为情感信息常常隐含在一些微妙的语

言表达方式中（比如反讽），还有一些具体的领域和语境中也会具有独特的情感表达方式。微博中的情感除了一些正规的表达语言外，还有很多微博特有的语言特色来表示，比如表情符、字母大小写、字母重复以及惊叹号的使用等等。微博上的这些语言特色很难用概率分布来表示用于对情感建模。可是基于规则的情感分析方法可以很容易通过将这些语言特色转化为规则来抓住微博语言中微妙的情感表达方式。因此，我们的模型采用了基于规则的情感分析工具发现微博中的情感信息，更适合于 Twitter 等短文本社交媒体上用户主观信息的建模。

5.4.4 主观模型的应用

从用户微博中学习得到的主观模型能够在用户观点挖掘分析以及行为分析预测（转发、关注等行为）得到应用。本章我们以用户观点的预测为例来验证主观模型的作用，也就是学习到的主观模型能否有效的对用户将来针对某话题的观点进行预测。根据用户观点的一致性，我们认为用户不会就某一话题表达随机正面或负面的观点，例如按照常理一个支持某候选人的用户更趋向于针对该候选人发表正面观点的微博。社会学上称这种现象为人的主观偏执（bias），也就是人的主观性^[174]。因此得到了用户的主观模型，就可以预测用户就某一话题发表的微博所持观点。

我们将观点预测问题形式化为三元组 $\langle author, m, t \rangle$ ，其中 $author$ 微博 m 作者，微博涉及话题为 t 。观点预测的目标就是计算得出用户 $author$ 的微博 m 针对话题 t 表达出的观点极性 $p = \{positive, negative\}$ 。情感分析领域针对这一问题的主要方法是从微博中抽取出文本的表达模式，然后探索这些模式来预测观点的极性。单条短微博经常会由于缺乏上下文信息而使得观点模糊不清，但是用户的主观模型是从用户所有的微博中建立的，因此具有足够的信息，并且由于用户主观性的一致性，主观模型的观点信息比一条短文本更加可靠。因此我们提出使用主观模型来提高观点预测效果。具体来说，对微博 m ，其作者的主观模型算法 5.1 构建，微博 m 的情感值通过某种方法比如 SentiStrength 得出为 s_m 。微博 m 所谈论的话题可以使用的公式 5.3 推导得出：

$$\hat{t} = \operatorname{argmax}(\hat{P}(t|\theta, \beta, Z_u)|t). \quad (5.5)$$

用户 $author$ 的观点分布可以从主观模型 $P(author)$ 中确定， $O_{author, \hat{t}}$ ，为在情感值上的分布，我们可以计算出用户在话题 \hat{t} 上归一化情感值：

$$\hat{s}_m = \sum_{i \in T} d_i * v_i \quad (5.6)$$

表 5.1 Twitter 数据集统计

Total users	139,180	Friends per user	14.8
Total edges	4,175,405	Followers per user	14.9
Total tweets	76,409,820	Tweets per user	549

其中 v_i 表示情感值, d_i 表示情感值对应的分布。于是可以使用微博的情感值 s_m 和归一化的主观模型情感值 \hat{s}_m 进行观点极性 p 预测:

$$p = \begin{cases} \text{positive} & \text{if } \frac{\hat{s}_m + s_m}{2} \frac{|S|}{|S|} + 1 \\ \text{negative} & \text{if } \frac{\hat{s}_m + s_m}{2} \frac{|S|}{|S|} < \frac{2}{2} \\ \text{neutral} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.7)$$

其中 S 是情感强度空间。

5.5 实验

5.5.1 数据集及设置

我们使用的是通过 Twitter 公开的 API 抓取的现成的数据集^[175]。数据集的具体细节在表 5.1 中列出。

由于 LDA 模型的计算复杂度, 直接从 139,180 个用户的所有微博中构建主观模型需要耗费大量的时间。根据社交网络的同质性^[176], 也就是“物以类聚 (birds of a feather flock together)”的原则^[177], 社交网络中连接紧密的用户更趋向于讨论相同话题持有相似观点^[178]。在 Twitter 上, 用户之间的连接关系对应着认可或关注, 或者意味着有相似话题或观点。因此我们利用社交网络的社区结构 (community) 将 139,180 个用户划分为不同的社区, 在社区内部为用户构建主观模型。社区的划分我们使用的是 Igraph¹ 工具包, 最后将用户划分为 106 个社区。对于用户数少于 15 的小社区, 使用 LDA 进行话题分析效果比较差, 因此我们将这些社区和用户过滤掉。同时我们也过滤掉了发微博少于 5 的、每次发微博字数少于 3 个的或微博中只有网络连接的用户 15,756 个。最后形成的数据集中有 122,329 个用户, 分部于 33 个社区中。我们为每个用户在其社区内局部网络中按照算法 5.1 构建主观模型。

除了主观模型, 我们也使用生成模型 JST 和 TSM 进行了对比试验。其中模型的 Dirichlet 先验参数设为 $\alpha = 50/T$ (T 为话题数目), $\beta = 0.01$ 。JST 的不对称情

¹<http://igraph.org/>

为了定性展示我们所提出的主观模型的有效性，我们给出了一个学习得到的用户的主观模型如图所示。该用户发表了 533 条微博，所有微博用词云图 5.4 来显示。

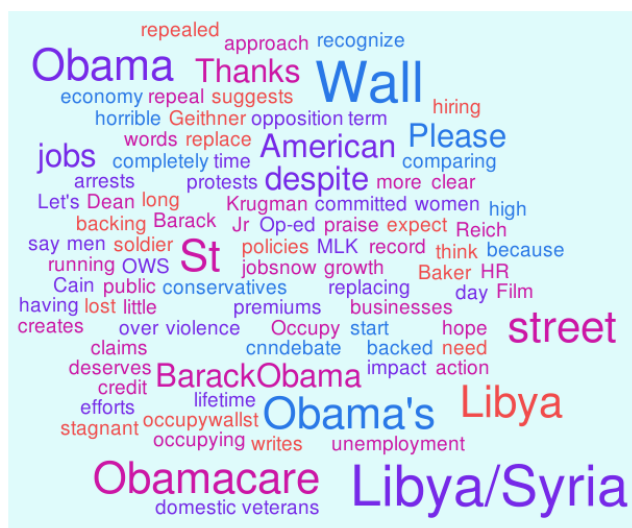


图 5.4 微博词云

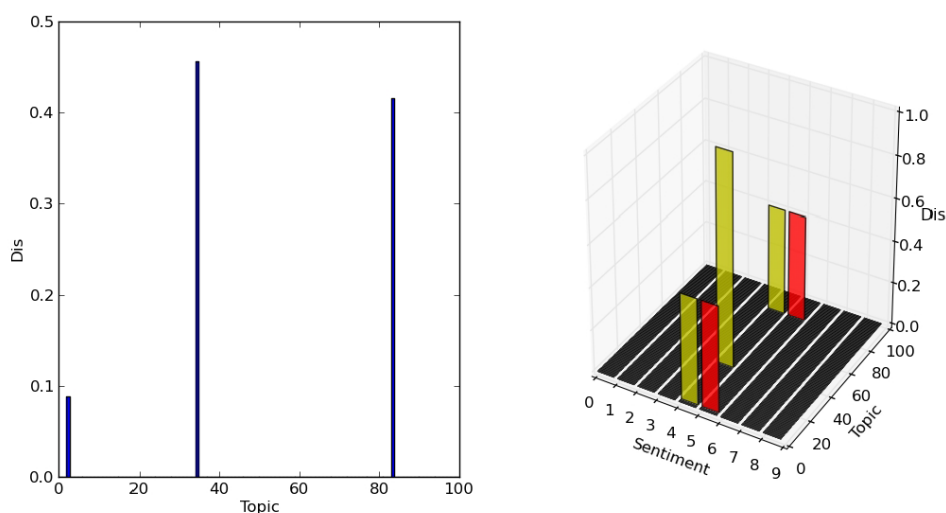


图 5.5 主观模型。主观模型中, 左侧图代表话题分部: ($w_u(2) = 0.08, w_u(32) = 0.48, w_u(83) = 0.44$); 右侧图代表观点的分部: $O_2 = (d_{u,2}(4) = 0.5, d_{u,2}(5) = 0.5)$, $O_{32} = (d_{u,32}(4) = 1.0)$, $O_{83} = (d_{u,83}(4) = 0.5, d_{u,83}(5) = 0.5)$ 。

图 5.5 是用户在 $[0, 100]$ 话题空间和 $[0, 8]$ 情感强度空间的可视化的主观模型。很明显，从词云图上可以看到该用户讨论了三个话题（话题 2：“#Obamacare”，话题 32：“#libya”以及话题 83：“#occupywallst”），子图 5.5 左侧展示了用户在每个话题上的兴趣权重。子图 5.5 右侧是用户对这三个话题所持观点分布，总体来看，对于话题“#libya”情感分布 100% 在强度 4 上，属于中性，对话题“#Obamacare”和“#occupywallst”情感分布都是 50% 在强度 4 以及 50% 在强度 5 上，属于中性偏正面倾向。从这个样例可以看出，我们的主观模型对用户的主观性进行了详细的建模，不但有用户的兴趣分布，也有细粒度的观点分布信息。

5.5.3 观点预测性能

为了定量评价主观模型的有效性，我们将主观模型在观点预测任务上与两个生成模型（TSM and JST）和一些主流的情感分析方法进行了对比实验。由于缺少可用的标注数据，我们主要跟几个无监督的情感分析方法进行了对比，这些方法主要有：

- **OF:OpinionFinder** 是一个公开可用的情感分析软件包，主要是用于句子层面的主观性分析^[117]。
- **S140:Sentiment140** 使用远距离监督（distant supervision）方式（使用表情符获取训练数据）进行微博的情感分类。
- **STR:SentiStrength** 将微博中的一些语言特点转化成规则结合基于词典的方法专门针对微博等短文本社交媒体进行情感分析^[142]。

我们从数据集中随机选择了 1,000 个至少有 80 条微博的用户条，然后每个用户随机选择一条微博组成了 1,000 条微博的数据集用于性能评测。为了能更容易识别微博的话题，我们优先选择带 hashtag 的微博。所有的 1,000 条微博进行人工标注作为评测标准。话题模型的话题数分别设置为 50, 100, 150 以及 200，评价指标使用的是准确率，结果如表 5.2 所示。

从表中可以看出：

首先，OpinioFinder 的准确率是最低的 65.85%，主要原因是 OpinioFinder 主要是针对评论而设计的主观性信息分析工具，不适用于 Twitter 这种语言环境；

第二点，两个情感分析方法的准确率都显著的好于 OpinioFinder（Sentiment140: 70.45%，SentiStrength: 69.98%）；

第三点，总体上两个生成模型的准确率都好于 OpinioFinder，证明了将情感信息与话题进行关联的重要性，它们的准确率都比 Sentiment140 和 SentiStrength 稍好，但是不显著；

表 5.2 评价结果。相对于 OF 显著的性能提升使用 * 标记。

Method	50	100	150	200
OF	65.85%			
S140	70.45%			
STR	69.98%			
TSM	63.46%	72.94% *	67.83%	66.65%
JST	61.25%	68.57% *	75.88% *	67.03%
SUB	71.53% *	81.05% *	78.32%	74.54%

最后，我们的模型 (SUB) 准确率在四种话题设置下都显著地超过了三个情感分析方法，并且将主观模型的信息加入到 SentiStrength 的分析结果后，显著提高了 SentiStrength 的性能，与两个生成模型相比较，我们的模型性能明显比 TSM 要好，稍好于 JST，这是因为我们的模型构建所用的情感分析方法更适合与 Twitter 语言，能够更准确的分析微博中的情感信息。

5.6 小结

本章中，我们定义并研究了社交媒体中用户的观点集成问题，提出了主观模型作为解决方案并设计了新的算法来从用户的历史数据中构建主观模型。使用主观模型可以自动总结用户在各个话题上的综合观点。实验证明，主观模型能有效的对用户的主观性进行建模，并且在观点预测任务中基于主观模型的方法性能显著比现有的几个情感分析方法要好，而且比 TSM 和 JST 两个生成模型更适于与 Twitter。

第六章 转发分析

6.1 引言

信息传播在市场营销以及选举策略等应用场景发挥着很大的作用，因为通过信息传播可以触发大量的人参与并逐步层叠扩展到更多的人。信息传播的研究引起了很多研究者的关注，尤其是在线的社交网络的研究者，他们对信息传播提出了一些通用的模型，用于帮助模拟信息流动（information flow）^[179, 180] 以及探测信息级联（information cascades）的爆发^[181]。可是他们常常都是将用户看作是网络中单一的节点，忽略了用户在信息传播过程中的自主性。作为 Web2.0 时代的信息消费者和生产者，每个用户都可以在社交媒体上发帖表明自己的兴趣和观点，选择信息阅读和传播。在社交网络上一条信息能否获得广泛传播依赖于“口碑相传（word of mouth）”效应，该效应会引发用户的传播行为。随着自然语言处理（Natural Language Processing）和数据挖掘（data mining）技术的发展，社交媒体上用户的意图可以使用他们产生的数据对用户进行建模来分析。本章中，我们关注一个有趣的问题：“口碑相传”效应机制问题，也就是给定某个特定用户的一条新微博，我们想要预测在所有收到该微博的所有用户中谁最有可能参与到该条信息的后续传播中去。作为一个典型的场景，我们用在 Twitter 中的一个异构网络来说明这个问题，如图 6.1 所示，网络中 Tony 和他的网络中的朋友讨论了两个话题：“苹果手机（Iphone）”以及电影“冰雪奇缘（Frozen）”，现在 Tony 发了一条有关电影“冰雪奇缘”的新微博，我们想去发现他的朋友中谁会转发这条微博进行传播。

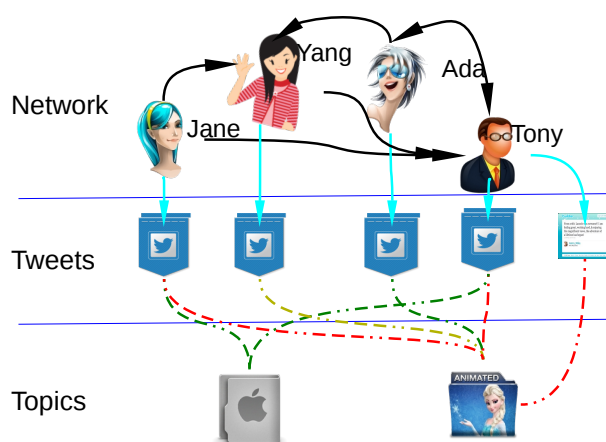


图 6.1 问题图示

不同社交网络平台上的信息传播行为是不一样的，本章我们主要研究 Twitter 上的转发行为。因为庞大的用户群以及信息的爆炸式增长，Twitter 在互联网上信息传播中扮演着重要角色，尽管微博长度上受到限制，但是 Twitter 为用户提供的转发按钮为信息的快速传播提供了前所未有的机制。据统计 Twitter 上的微博超过四分之一是转发别人的^[84]，因此如果能够理解了转发行为是如何发生的也就能很好的解释 Twitter 上的信息传播。

作为信息传播的参与者，用户很自然地会在相互通信交互中表达出自己感兴趣的话题并发表自己的观点。在心理学的研究中证实人的主观能动性 (subjective initiative) 本质决定了人的主观性会影响其行为^[182]，同样根据偏颇吸收 (Biased Assimilation) 理论，人总是趋向于选择和传播跟自己偏执观点 (biased opinions) 相似的信息^[183]。因此能够全面掌握用户的主观性是研究用户参与信息传播意图的一个很重要的方面。针对转发行为的前期研究已经发展出了一些方法和模型用于找到影响转发的因素^[162?]。然而据我们所知，还没与研究关注到用户转发行为背后的主观动机。就 Twitter 的口碑效应来说，转发意味着包括接受消息，评估内容以及衡量时候转发三个环节的一个完整过程，其中最重要的就是评估消息中是否有价值的信息值得和朋友分享。因此对用户的主观动机进行建模会为转发行为分析提供重要的研究视角。直觉上，依据“物以类聚 (like attracts like)”原则，具有主观性的用户更趋向于转发那些能够迎合他口味 (观点) 的信息。就我们在图 6.1 中的例子来说，用户对两个话题所持观点已经在他们之前发布的微博中表达了，Tony 和 Jane 对电影“冰雪奇缘”持正面肯定观点，而 Ada 持负面观点，Yang 持中性观点。如果 Tony 新发布的是对冰雪奇缘正面肯定的微博，Jane 是最有可能转发这条微博的就很容易理解了。因此用户的主观性是如何影响其转发行为的是本章的关注点。

为了研究主观性和转发行为的关系，有两个问题需要回答：(1) 怎样准确对用户的主观性进行建模？(2) 怎么样从主观性上有效度量用户认为微博传播的值得性？回答这两个问题不是一件很容易的事，其中上一章我们已经提出了使用主观模型来解决社交媒体上用户观点集成问题，本章我们将继续使用主管模型的概念，提出一个更加通用的框架，并就主管模型提出一个全新的相似性计算方法来度量传播的值得性，而且就影响转发行为的因素，我们会结合主观相似性度量来分析三个最有可能引起转发行为的因素。

⁰每个用户的观点用不同颜色表示，“红色”当标正面观点，“绿色”代表负面观点，“黄色”代表中性观点。

6.2 相关工作

在微博转发行为分析方面,很多工作已经在转发行为特征、查找提高微博转发性的因素以及设计能估计转发概率的模型方面展开研究。Suh 等^[184]通过研究发现带有网络连接 URL 以及 hashtag 标记的微博更有可能被转发。Macskassy 和 Michelson^[162]发现从微博内容中推导出模型能够解释大多数的转发行为。Comarella 等^[86]发现对微博作者的先前反应,微博作者发帖频率,微博内容的新鲜程度以及微博的长度会影响关注者的转发可能性。Starbird 和 Palen^[85]特别针对危机发生时的微博信息转发机制进行了研究,发现带有跟带有危机话题关键词的微博更有可能被转发。Osborne 和 Lavrenko^[185]通过引入一些有用特征,比如微博的新颖性和作者被加入朋友列表的次数,来使用被动主动算法 (passive aggressive algorithm) 训练模型预测转发行为。Jenders 等^[88]从微博及其作者的网络结构、信息内容以及情感方面分析了一些“显式”和“隐式”的影响转发的特征。Naveed 等^[186, 187]引入了微博的趣味性指标,并使用一些比如表情符、情感以及话题等特征对其进行量化来预测一条微博被转发的可能性。Feng 和 Wang^[188]构建了一个图模型并将微博以及用户的所有信息源结合进图的节点和边,并提出了一个特征敏感的因子分解模型 (factorization model) 对微博依据被转发的可能概率进行重排序。Pfitzner 等^[189]提出了一种叫做情感分歧 (emotional divergence) 指标来评价微博被转发的可能性,并研究证实了高情感分歧值的微博会有更高五倍的机会被转发。

总体来说,上述所有工作主要是回答“某条微博会否被某些用户转发”这样一个问题,但是他们还不能回答“从一个信息消费者角度来看到的某条微博是否值得用户采用转发行为进行信息传播”这样的问题,本章中我们会结合上章提出的主观模型从用户的兴趣和观点角度就用户的主观动机来分析转发行为。

6.3 基于主观模型的转发分析

为了研究用户转发行为的主观动机,首先需要了解用户的主观性,也就是能清楚用户喜欢什么和不喜欢什么,也就是用户感兴趣的话题和用户对话题所持的观点,这就是上章我们为用户所建立主观模型的作用。随着社交媒体普及率越来越高,社交媒体上带有用户主观性信息的用户产生内容 (UGC) 也越来越多,自然语言处理领域的观点挖掘 (opinion mining)^[15]研究开始通过计算方式自动对用户的观点信息进行建模。并且也出现了一些基于方面 (aspect-based) 情感分析或话题情感模型 (topic-sentiment model)^[159, 190]将针对话题的观点投射为二值极性,评价等级或情绪类型等某一个单一的情感值,但是这些模型因为这种观点简单的

表示形式而使得其作用受到限制。因此在主观模型中，我们通过将话题和观点结合为一个模型并将话题和观点使用新的表示形式（在话题空间和情感空间的分布）来对用户的主观性进行建模。

6.3.1 主观模型

在 Twitter 上，用户一般是对多个不同话题感兴趣，比如图 6.1 中的例子中 Tony 和 Jane 都对苹果手机话题和冰雪奇缘电影感兴趣并表达了自己的观点。一般来讲，用户对话题的兴趣度会随着话题的不同而不同，而且，即便对同一个感兴趣话题，当一个用户其不同的方面（aspects）发表微博表达的观点也不是完全一样的，因此我们认为对用户的主观性进行建模时：

- 每一个用户 u 都对应着一个在话题空间 T 的 $|T|$ 维的话题分布 $W_u = \{w_u(t) | W_u \in R^{|T|}, \sum_t w_u(t) = 1\}$ ，其中 $w_u(t)$ 表示用户在话题 t 上的兴趣度。
- 用户 u 对话题 t 的观点应该表示为一个在情感空间 S 的 $|S|$ 维的情感分布 $O_t = \{d_{u,t}(s) | O_t \in R^{|S|}, \sum_s d_{u,t}(s) = 1\}$ ，其中 $d_{u,t}(s)$ 表示用户观点中带有情感值 s 的可能性。

从技术角度来讲，我们提出主观模型的目标就是设计一个通用的框架能够从社交媒体用户产生的数据中同时学习到用户兴趣（对应的话题分布）和观点（对应的观点分布），以此为基础进行用户一些在线行为的分析，本章中我们主要研究用户的转发行为。之所以说我们提出的主观模型是通用的，因为它不但将用户的兴趣和观点融进一个整体框架，更重要的是，在主观模型中观点表示为一个在可扩展的情感空间上的概率分布。这个情感空间既可以是表示情感正负极性的二值空间，又可以是连续值表示的情感强度空间，或是离散值表示的情绪类型空间，因此可以覆盖所有的观点表示形式。图 6.2 是一个在 $[0, 100]$ 话题空间和 $[0, 8]$ 情感强度空间主观模型的可视化示例。

左侧图中表示用户在话题 2, 32 和 83 上的兴趣度：

$$(w_{u,2} = 0.08, w_{u,32} = 0.48, w_{u,83} = 0.44)$$

右侧图中表示在每个话题上的观点分布：

$$O_2 = (d_{u,2,4} = 0.5, d_{u,2,5} = 0.5)$$

$$O_{32} = (d_{u,32,4} = 1.0)$$

$$O_{83} = (d_{u,83,4} = 0.5, d_{u,83,5} = 0.5)$$

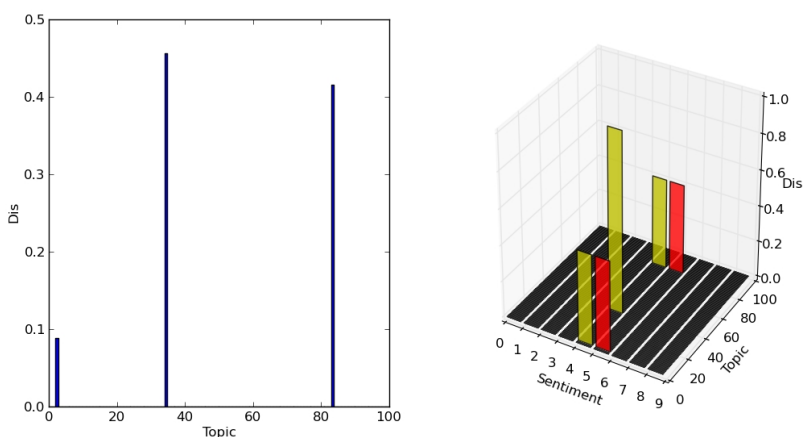


图 6.2 可视化主观模型示例

在构建主观模型时，我们的框架是将话题分析和观点分析分开进行的。具体点来讲，首先使用的是用户层面（user-level）的 LDA 话题模型从用户所有的微博 M_u 中训练一个全局话题模型 $TM = (\theta, \phi)$ ，其中 θ 表示用户在话题空间 T 的兴趣度分布， ϕ 表示话题在词表上的分布。由于微博比较短小，通常认为每条微博谈论的是一个话题，因此我们可以根据全局话题模型计算微博 t 从话题模型中产生的概率值为 t 指定一个最有可能的话题：

$$z_t = \arg \max_k \prod_{w \in t} P(w|\phi_k) \quad (6.1)$$

然后就可以将用户 u 所有谈论同一话题的微博数进行归一化后获得用户 u 在话题上的兴趣度：

$$w_{u,k} = \frac{|\{t : t \in M_u \wedge z_t = k\}|}{|M_u|} \quad (6.2)$$

关于观点分布，正如我们在图 6.1 中的例子看到，Tony 和 Jane 总体上都是对电影“冰雪奇缘”持正面观点，但是他们有可能是因为不同的原因而喜欢这部电影的。Jane 可能非常喜欢电影浪漫的故事情节，但是对它的动画画面稍微有点失望；而 Tony 喜欢这部电影可能是因为被这部电影的动画技术所折服，却不喜欢它略显幼稚的公主王子题材。之前的情感分析研究主要是将观点通过计算得出某一个单一值，尤其是正负极性二值为主，并不区分针对话题的每个观点在不同方面的具体情感，也无法计算观点的大小顺序，比如那个用户更喜欢电影些。因此在主观模型中，我们将观点表示为在情感空间 S 的一个分布用以更精确的表示和区分观点。假设微博 t 通过情感分析得出其在情感空间的情感值为 s_t ，用户在某一

话题 k 上的观点分布可以通过将其所有谈论该话题微博在每一个情感值上的数目归一化处理后获得：

$$\begin{aligned} O_k &= \{d_{u,k,s} | s \in S\} \\ &= \left\{ \frac{|t : t \in M_u \wedge z_t = k \wedge s_t = s|}{|M_u|} \middle| s \in S \right\} \end{aligned} \quad (6.3)$$

6.3.2 主观相似性

得到用户的主观模型后，需要定义一个相似性度量方法来计算用户之间或用户与微博之间主观性上的距离，以量化“物以类聚 (like attracts like)”效应。首先我们定义在同一话题上观点的相似性计算方法。

6.3.2.1 观点相似性

在主观模型中观点是定义在情感空间上的分布，其每一维都代表着在对应情感值上的情感比重。实际上，为了区分观点，情感空间中的情感值并不是独立的，情感值之间有一定的顺序和大小来表示情感的强度。比如情感值为 8 的观点比情感值为 5 的观点持更正面的观点。因此常用的一些计算分布相似性的方法，比如余弦相似性 (cosine similarity) 以及 KL 距离 (KL-divergence)，对于主观模型中观点分布相似性的计算就不适合了。如表 6.1 所示，假设在一个 $S = [0, 8]$ 情感空间中表示的三个观点：观点 O_k^1 是最负面 (100% 分布在情感值 0 上)，观点 O_k^2 是正面的 (50% 分布在情感值 6，50% 分布在情感值 7 上)，观点 O_k^3 最正面 (100% 分布在情感值 8 上)。

表 6.1 观点相似性示例

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
O_k^1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
O_k^2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0
O_k^3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

假设使用常规的分布的相似性计算方法余弦相似性，就会发现三个观点之间的相似性都是 0，因而出现了相似性计算方法失效，这是与事实不相符的，因为观点 O_k^2 与观点 O_k^3 比观点 O_k^1 与观点 O_k^3 更相似，它们都是持正面观点。因此观点的相似性计算不能简单将观点视为一般的概率分布来计算，或者只是观点空间的一个距离值。为了准确计算观点之间的相似性，我们将观点在情感空间的距离和分布上的相似性结合起来，提出了如下的计算观点 O_k^u, O_k^v 之间相似性方法：

$$Sim(O_k^u, O_k^v) = \frac{|S| - |\sum_{i=0}^{|S|} d_i^u v_i - \sum_{i=0}^{|S|} d_i^v v_i|}{|S|} \quad (6.4)$$

其中 d_i 是第 i^{th} 维的情感分布, v_i 是相应的情感值。

使用方法 6.4 计算表 6.1 中观点之间相似性为:

$$Sim(O_k^1, O_k^3) = 0$$

$$Sim(O_k^2, O_k^3) = 6/8$$

$$Sim(O_k^1, O_k^2) = 2/8$$

。这与我们对观点相似性的直觉理解是一致的。

6.3.2.2 主观相似性

在主观模型中, 用户感兴趣的话题表示为在话题空间 T 上不同话题的兴趣度分布, 因此两个主观模型 SM_u 和 SM_v 之间的主观相似性可以将话题上的权重与对应的观点分布相似性结合起来进行集成计算:

$$Sim(SM_u, SM_v) = \sum_{k=1}^{|T_{u,v}|} \theta_u(k) Sim(O_k^u, O_k^v) \quad (6.5)$$

其中 $T_{u,v}$ 表示两个用户之间的共同话题, 可以通过对他们之间感兴趣话题的交集来获得; $\theta_u(k)$ 代表用户 u 在话题 k 上的兴趣度权重。

值得注意的是, 当我们测量用户 u 在主观性上与用户 v 有多相似性时, 话题权重我们使用的是用户 u 的话题权重, 因此这个主观相似性度量方法是不对称的。之所以这么做, 我们的直觉是因为用户的主观性是个人的内在感觉, 因此对于另一个用户与自己主观想法上有多相似也是一个单向的感知, 无需对称性的考虑。因此在度量主观相似性时, $Sim(SM_u, SM_v) \neq Sim(SM_v, SM_u)$ 。

6.3.3 转发行为分析

用户的转发行为收到多种因素的影响, 但是从用户的角度来讲, 三种情形下会引发用户的转发:

1. 微博的内容对用户具有吸引力, 因此用户的转发行为是根据自己的主观判断引发的;
2. 微博是由关系密切的好朋友发出的, 因此用户的转发行为是因为社交需要;

3. 微薄内容是突发新闻或有趣段子而具有流行性，因此用户的转发行为是趋同需求（conformity needs）^[191] 的结果。

这些情形是用户转发行为的不同原因，从主观动机角度分析，我们使用三个主观相似性来量化这三个因素进行转发行为的分析。

在以下的分析中，对于一条微博 t ，假设 F 表示该微博作者 u_a 的关注者，当作者 u_a 发布微博 t 后，所有用户 F 都会看到 t ，至于哪个用户会转发 t ，我们需要分析其主观动机。对于每一个关注者 $f \in F$ ，可以定义一个四元组 $\langle f, u_a, t, r_f \rangle$ ，其中 r_f 是一个二值标签用以表示微博 t 是否会被用户 f 转发，需要 we 通过分析进行预测。

6.3.3.1 吸引力度量

一般来讲，用户根据自己的主观判断，看到一个有吸引力的微博就会转发。因此我们可以通过计算微博 t 与微博关注者 f 之间的主观相似性来定量地度量这种吸引力。对于一条微博，它所讨论的话题 z_t 可以使用公式 6.1 指定，对其进行情感分析可以得到情感值 s_t ，因此微博也能够使用主观模型进行建模，它的话题分布和观点分布都是一个 100% 的单一分布。于是微博 t 对于用户 f 的吸引力就可以使用我们定义的主观相似性计算方法 6.5 进行度量：

$$Sim(f, t) = \theta_f(z_t) Sim(O_{z_t}^f, O_{z_t}^t) \quad (6.6)$$

6.3.3.2 社交性度量

这种情形下，转发行为是基于用户的社交交互需要。由于微博是由志同道合（like-minded）的好朋友发的，转发行为是因为友谊触发而不一定是微博内容。这种情况下可以通过计算用户 f 与微博作者 u_a 之间的主观相似性来度量二者之间友谊的亲密程度：

$$Sim(f, u_a) = \sum_{k=1}^{|T_{u,v}|} \theta_f(k) Sim(O_k^f, O_k^{u_a}) \quad (6.7)$$

同时也应该考虑到，不同类型的朋友对用户 f 的影响力（influence）是不同的，比如用户 f 可能会关注很多人，但是可能只会与少数几个互动频繁（转发等互动）。而且用户 f 并不是对朋友的每条微博都感兴趣，例如在图 6.1 中的例子中，Jane 可能会对 Tony 所发的关于电影“冰雪奇缘”的微博，但是对他的关于苹果手机微博不感兴趣。因此我们对用户之间的主观相似性 $Sim(f, u_a)$ 附加一个权重以反映不同类型朋友对用户 f 的影响力，该权重有四部分因子组合而成。

专家指数因子 (Expert Factor) $w_E(u_a)$: 该因子代表着微博作者 u_a 在接收朋友圈中相对的专家指数，专家指数越高的用户就会对其他用户有更多的影响力。本章中我们简单的根据用户 u_a 的发帖数量在所有朋友圈中发帖总数的比例来计算专家指数。

$$w_E(u_a) = |M_{u_a}| / |\{M_u | u \in u_a \cup F\}| \quad (6.8)$$

领导力因子 (Leadership Factor) $w_L(u_a)$: 我们将用户的领导力为该用户拥有的粉丝 (followers) 数。因此领导力因子可以通过归一化计算为：

$$w_L(u_a) = \log(|F|) / \log(\max) \quad (6.9)$$

其中 \max 是 Twitter 中用户的最大流行度 (maximum popularity)¹。

相似性因子 (Similarity Factor) $w_S(u_a, f)$: 用户 u_a 和 f 之间的兴趣的相似性可以通过他们主观模型中话题分布之间的反 KL 距离 (inverse KL-divergence) 来度量：

$$w_S(u_a, f) = 1 / KL(\theta_{u_a}, \theta_f) \quad (6.10)$$

交互因子 (Interaction Factor) $w_I(u_a, f)$: 用户 u_a 和 f 之间的交互数量 $Interaction_{u_a, f}$ 包括他们之间的对话，相互之间的提及以及相互之间的转发等。该因子可以通过将 $Interaction_{u_a, f}$ 用用户 u_a 和 f 所有的微博数目归一化计算获得：

$$w_I(u_a, f) = |Interaction_{u_a, f}| / |\{M_{u_a}, M_f\}| \quad (6.11)$$

总体上，将以上四个因子组合后可以得到影响权重：

$$w_{u_a, f} = \lambda_1 * w_E(u_a) + \lambda_2 * w_L(u_a) + \lambda_3 * w_S(u_a, f) + \lambda_4 * w_I(u_a, f) \quad (6.12)$$

其中 λ_i 是一个可选权重向量以反映不同因子的影响，并且 $\sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1$ 。本章中我们将其均衡设为 $\lambda_i = 0.25$ 。

6.3.3.3 流行性度量

用户在使用 Twitter 时，如果发现一条微博是非常流行的（具有新颖性或传染性），在趋同 (conformity) 效应的作用下，用户就会很有可能对其进行转发。这种情形下，微博 t 的内容一般在话题和观点上与其作者 u_a 的主观性不太一致，因此微博 t 与其作者 u_a 之间的主观相似性 $Sim(u_a, t)$ 会相对较低：

$$Sim(u_a, t) = \theta_{u_a}(z_t) Sim(O_{z_t}^{u_a}, O_{z_t}^t) \quad (6.13)$$

¹<http://twittercounter.com/pages/100>

用户的转发行为是由于微博 t 的流行性而不是其因为内容具有吸引力或者是好朋友发布的，为了度量其流行性影响，我们对 $Sim(u_a, t)$ 增加一个流行性系数，该系数可以通过计算接收微博 t 的用户 f 所关注朋友中转发微博 t 的比例来确定。

6.4 Experiments

6.4.1 Dataset and Settings

Our method has been evaluated on the Twitter dataset from [2], in which 500 target English tweets were monitored to find who would retweet it in the future. Each target tweet was set as starting point to collect recent tweets for its author and followers. Overall, there are 45,531 users who have posted at least 6,277,736 tweets. 5214 users have retweeted at least one target tweet during the monitored period. To avoid the bias introduced by dataset imbalance, an evaluation dataset is constructed by taking 5,214 retweeters as positive instances, and randomly sampling 5,214 non-retweeters as negative instances.

For the topic model, we use Gensim[2], which adopts an efficient batch-based online inference algorithm. All parameters are set as defaults and the number of topic traverses from 50 to 200. For sentiment analysis, we just make use of an off-the-shelf work, i.e. SentiStrength[2]. In order to catch the sentiment of tweets, we use the sentiment lexicon created based on AFINN by Nielsen[2]. The sentiment space is formed by mapping the positive and negative sentiment values to range [0, 8].

6.4.2 Correlation Test

First of all we assess the correlation between subjectivity similarity and retweeting behavior with a statistical hypothesis test Analysis of Variance (ANOVA)[2], which tests the *null hypothesis* that the retweeters and non-retweeters have the same subjectivity similarity means. The results are listed in Table 6.2. The bold-faced entries mean that the *p-value* is lower than significance level. Note that for the topic numbers of 100 and 150, all similarities yield *p-values* below significance level with *F-ratio* above 1.00. This suggests that the subjectivity similarities could be useful features for modeling retweeting behavior. For the rest experiments, we set the topic number as 100 for LDA.

6.4.3 Case Study

In this section, we give an vivid example to illustrate the subjectivity model and its ability in explaining the retweeting behavior. The subjectivity models of one of the 500

表 6.2 ANOVA results for subjectivity similarities. If the difference is due to chance, F -ratio=1.00, otherwise F -ratio >1.00 (p -value <0.01).

Similarity		$Sim(f, t)$	$Sim(f, u_a)$	$Sim(u_a, t)$
50	F	12.182	2.212	4.236
	p	4.44e⁻⁰⁶	0.140	0.272
100	F	43.892	31.145	28.466
	p	8.65e⁻¹¹	3.55e⁻⁰⁸	1.32e⁻⁰⁹
150	F	22.356	12.240	14.664
	p	2.43e⁻⁰⁸	6.25e⁻⁰⁶	8.46e⁻⁰⁷
200	F	31.675	20.616	6.145
	p	4.22e⁻⁰⁶	2.92e⁻⁰⁵	0.26

target tweets, its author, and two followers (one retweeter, the other non-retweeter) are shown in Figure 6.3. The right part of each sub-figure illustrates topic distribution and the left part illustrates opinions on each topic.

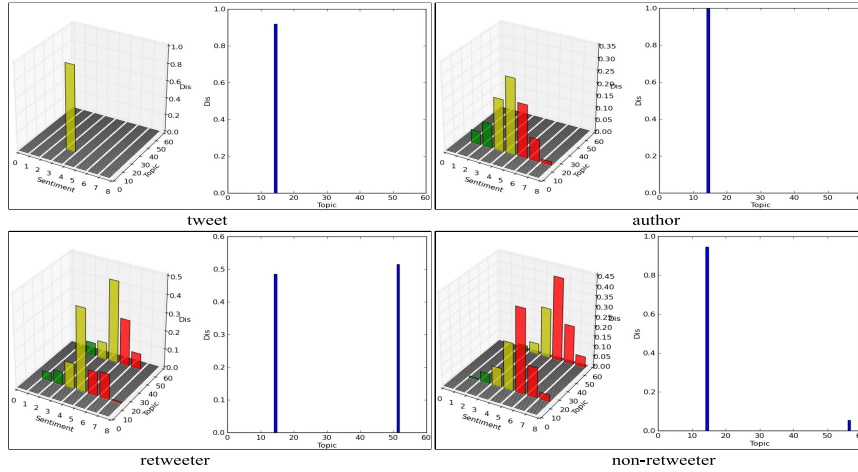


图 6.3 An illustration of subjectivity models of a tweet, author and two followers.

It is obvious that the tweet is about the 14th topic, and the opinion is neutral. The author concentrates on the 14th topic, and his opinion is mainly neutral. As for two followers, the retweeter has tweeted on two topics (the 14th and 52nd topic) uniformly and his opinion on the 14th topic is mainly neutral. While the non-retweeter has also talked about two topics (14th and 56th topic), but he is mainly interested in the 14th topic and his opinion is positive.

Table 6.3 shows the three subjectivity similarities for both retweeter and non-retweeter. It is clear that except for the similarity between the tweet and its author, the other two subjectivity similarities of the retweeter are much larger than the non-retweeter. They have

表 6.3 Illustration of example subjectivity similarities

Similarity	$Sim(f, t)$	$Sim(f, u_a)$	$Sim(u_a, t)$
Retweeter	0.854	0.967	0.886
Non-retweeter	0.805	0.919	0.886

common interest (the 14th topic), and furthermore the non-retweeter is more similar with the tweet and its author than the retweeter in terms of topics. But their different opinions towards the topic elicit their different behaviors, which verifies our model can help better understanding the retweeting behavior not only from topics but also opinions.

6.4.4 Performance Evaluation

We carried out the retweeting prediction experiments in three stages. Firstly we compared our model against other topic-based models including TF-IDF model (modeling user interests using bag-of-words), entity-based model (using entities extracted from the UGC) and hashtag-based model (using hashtags used in the UGC)^[21]. Secondly, our model was compared with two generative topic-sentiment models (TSM model^[21] and JST model^[21]). TSM and JST can also model topic and topic related sentiment simultaneously. We also use Equation 6.5 to calculate three subjectivity similarities for both TSM and JST as our method in section 6.3.3, and combine them together in the prediction.

The subjectivity model has been proposed to catch the subjective motivation of users based on UGC, whereas other important factors associated with retweeting behavior are not considered, such as network topology and meta-data of users. Therefore, our model is also compared with the method of Luo *et al.* ^[21] (marked as “LUO”), in which different factors that might affect retweeting behaviors are considered. They only use bag-of-words to model user interests, so we also carried out combining experiments to demonstrate that the performance of prediction can be improved by replacing their bag-of-words model with our model (marks with “LUO+” prefix).

The logistic regression classifier is used for training and testing in a 5-fold cross-validation manner. We set a baseline, which simply predicts users who have retweeted the author previously as the retweeters of target tweet. All results are presented in Table 6.4 in terms of accuracy.

Firstly, all models except the hashtag-based model outperform the baseline (60.85%) significantly. While for hashtag-based model, the accuracy is only 59.12%, the reason lies in the sparsity of hashtag in tweets.

表 6.4 Accuracy performance. A significant improvement over baseline with * and LUO's model with ‡ ($p < 0.05$).

Feature	Accuracy(%)	Feature	Accuracy(%)
baseline	60.85		
TF-IDF	62.85 *	LUO	71.76 *
entity	68.76 *	LUO+entity	72.15 *
hashtag	59.12	LUO+hashtag	68.44 *
TSM	67.44 *	LUO+TSM	68.23 *
JST	68.13 *	LUO+JST	70.53 *
$Sim(f, t)$	73.88 * ‡	LUO+ $Sim(f, t)$	74.04 * ‡
$Sim(f, u_a)$	70.04 *	LUO+ $Sim(f, u_a)$	70.27 *
$Sim(u_a, t)$	69.64 *	LUO+ $Sim(u_a, t)$	71.86 *
sim_{all}	75.64 * ‡	LUO+ sim_{all}	78.15 * ‡

Secondly, $Sim(f, t)$ and sim_{all} outperform “LUO” (71.76%) significantly. The best performance is achieved by the sim_{all} (75.64%), for which we add three similarities to the classifier to test the impact of their combination. The performance of TF-IDF model (62.85%) is a little better than baseline. The entity-based model (68.76%) is very close to $Sim(f, u_a)$ (70.04%) and $Sim(u_a, t)$ (69.64%), and the difference is not significant.

Thirdly, the performance of two topic-sentiment models (TSM: 67.44%, JST: 68.13%) is not as good as our models. The reason lies in that they use a binary sentiment representation (positive or negative), which can not differentiate opinions elaborately. Our model can capture more subtle and fine-grain sentiment, which could distinguish different subjective motivation of retweeting behavior.

Finally, in the combining evaluation, $Sim(f, t)$ gives a significant improvement (LUO+ $Sim(f, t)$, 2.12% improvement) over “LUO”, but other two similarities and the entity-based model can not improve performance significantly. The performance is even degraded after combining with the hashtag-based model and two topic-sentiment models. But noticing that, the most significant improvement(LUO+ sim_{all} , 6.39% improvement) is achieved by combining with all three similarities.

Above all, the results show that our model can better help predicting retweeting behavior and can be regarded as a useful way to analyze the retweeting behaviors of users.

6.5 Conclusion

Motivated by the psychological research, this paper postulates that the diffusion behaviors of social media users are affected by their subjectivity. Therefore, a general sub-

jectivity model has been proposed and an efficient framework has been designed to establish the subjectivity model. Also a novel method is proposed to measure the subjectivity similarity. The subjectivity model has been applied to the retweeting analysis considering the attractiveness, sociality and popularity factors, which are quantified with subjectivity similarities. Experiment results demonstrate the effectiveness of the proposed model in the retweeting analysis problem and show that the model is able to reach better understanding of retweeting behavior. In the future, we will apply our model to other social network analysis task such as link prediction and recommendation.

第七章 总结与展望

社交媒体是一个新兴领域，本文主要围绕 Twitter 中文本特点和社交媒体特征展开研究。通过 Twitter 中的信息检索和传播分析任务，我们发现 Twitter 中的文本结构化信息和 tweet 的社交媒体信息可以帮助这些问题的解决。

Twitter 中的检索研究能够从 Twitter 的海量数据中快速找到有意义的信息，对于 Twitter 中的其他研究具有重要的意义。以往的信息检索研究主要是对图书馆文档或网页进行处理，我们针对 Twitter 数据，具体涉及了 Twitter 中的传统信息检索问题研究和 Twitter 中观点检索研究，以此解决如何在 Twitter 中找到主客观 tweet 的问题。

Twitter 中的传播分析问题，我们主要从 tweet 本身的传播和传播的受众角度进行分析，提出了 Twitter 中传播观点发现与传播者发现的问题。通过任务的定义与方法的研究，最后通过实验验证，找到了一些 tweet 文本特征和社交媒体特征与 Twitter 中信息传播的内在联系。

7.1 工作总结

本文的主要工作可以从以下四个方面来总结：

首先，针对现有 Twitter 信息检索工作忽视 tweet 文本结构信息对 tweet 排序重要性的问题，我们对 tweet 文本进行了结构化研究，以此帮助 Twitter 中的信息检索。这个工作的动机是基于普通文本和网页结构信息能够帮助传统信息检索的已有研究结论。虽然 tweet 文本短小，但是也存在结构化属性的特点。我们定义了 tweet 文本中的几个结构化模块，称之为 Twitter 积木。然后构造自动标注器，对 tweet 文本进行积木的标注。任何一个 tweet 文本都是由若干积木块排列组合而成，而 tweet 文本特定的积木组合又对应了文本特殊的属性。我们通过这种积木结构开发特征，然后结合 tweet 的社交媒体特征，将其应用到基于排序学习的 Twitter 信息检索任务中。实验结果发现我们的 tweet 文本结构化信息能够帮助 Twitter 信息检索。

其次，针对目前政府、企业、个人都通过 Twitter 来收集大量的观点帮助决策，但是并未对观点收集的基础工作观点检索展开系统研究，我们第一次提出了 Twitter 中观点检索的新问题。我们发布了 Twitter 观点检索的新语料，该语料已经作为 ICWSM 会议的常用语料供后续研究者研究使用¹。另外，我们根据 Twitter 中观点检索与博客观点检索的不同点，利用社交媒体特征与 tweet 观点化特征，提

¹<http://www.icwsml.org/2013/datasets/datasets/>

出了 Twitter 观点检索的方法，该方法在实验结果上显著优于优化的 BM25 基准系统和基于向量空间模型的基准系统。再者，我们还提出了一种基于社交媒体特征与 tweet 文本结构化信息收集近似主观化 tweet 和近似客观化 tweet 构造主观化词典的方法，该方法能够有效构造适合 Twitter 的情感词典并以此评价 tweet 的观点化程度。最后我们重新标注了 TREC Tweets2011 数据，证明了我们的 Twitter 观点检索方法在 TREC 数据上依然有效。

再次，针对 Twitter 观点检索中时常包含大量的低质量观点，而以往的研究认为转发的 tweet 通常是高质量文本，我们提出了 Twitter 中传播观点发现的新任务。我们根据新任务的特点开发了一系列特征以此提高传播观点发现的效果，这些特征包括了 tweet 的传播度特征、tweet 的观点化特征、tweet 的文本质量特征。我们在真实的数据集上进行了测试，结果验证了我们设计的特征对于传播观点发现是有效的，并且我们的方法显著优于 BM25 方法和我们的观点检索方法。另外，令我们鼓舞的是我们的方法能够在 Twitter 中预测观点是否会被转发到达人预测的水平。

最后，针对以往 tweet 转发预测研究中忽视“谁”转发的问题的重要性，我们研究了在 Twitter 中发现信息传播者的问题。我们定义了 Twitter 中信息传播者发现的新任务，以此帮助理解 Twitter 中信息是如何传播的。我们同样开发了一系列特征，并将其应用到排序学习的机器学习框架中，具体的特征包括用户历史的转发信息，用户自身的社交媒体特征，用户使用 Twitter 的活跃时间，以及用户的个人兴趣。由于以往没有相同的工作，因此我们自己构造了数据，并发布了数据供以后的研究者继续使用。实验结果证明了我们方法对于 Twitter 中信息传播者发现是有效的，方法优于随机系统和基于用户历史转发记录的排序系统。最终我们发现用户历史转发信息，兴趣和活跃时间是决定信息传播者的重要因素。

7.2 工作展望

展望未来，社交媒体中的信息检索和传播分析研究及其相关方向还有很多工作需要完成。这里总结以下亟待探索的研究方向和路线：

1. 以 Twitter 为代表的社交媒体一个重要特点就是消息的实时性，许多研究工作都围绕在 Twitter 中发现实时信息展开，包括新事件发现^[192-198]、实时灾害报道（如地震、疾病、火灾等）^[199-203]，另外，TREC 的 Twitter 检索^[204-210]也将实时性作为一个重要指标。本文的研究中，我们并未对话题检索和观点检索深入讨论实时性对检索效果的影响。这个问题的关键是找到与话题相关的时间点，如何找到这个相关时间点是未来研究的一个重点。

2. 本文的社交媒体研究仅仅以 Twitter 为代表展开，实际上流行的社交媒体还有很多，如 Facebook²、YouTube³、Flickr⁴等等。这些社交媒体肯定有自己独特的特点，在其数据上进行检索任务和传播分析需要研究其特殊性；另外，未来一个可能的需求就是多种社交媒体综合检索和跨媒体的信息传播，这就需要研究者在充分理解各种社交媒体的特点和人们对各种社交媒体不同的需求上，提出方法解决问题。
3. 目前跨媒体之间的研究是一个新的研究方向，主要是基于不同媒体之间的差异，利用各自的优点，解决其他媒体存在的问题。例如，有的研究利用维基百科的知识，帮助扩展 tweet 文本的语义，以此克服 tweet 文本短小，信息缺失的缺点^[211, 212]；有些研究利用维基百科的访问信息帮助 Twitter 中的事件发现^[213]；还有些研究各种媒体之间的联系以此帮助其他任务的解决^[214-219]等等。未来我们将利用其他社交媒体的优点，帮助 Twitter 中已有的信息检索和传播分析任务进一步提高效果。

总之，社交媒体的研究还有许多问题等待着去解决，我们将继续深入研究相关问题。

²<https://www.facebook.com/>

³<https://www.youtube.com/>

⁴<https://www.flickr.com/>

致 谢

时间应该“浪费”在美好的事物上，我很庆幸自己有机会从事这些课题的研究。

本课题承蒙国家自然科学基金-面上项目“融合网络特征的文本观点挖掘”(项目号: 61170156)和国家自然科学基金-青年科学基金项目“结合社会网络的网络信息传播分析研究”(项目号: 61202337)的资助, 另外感谢国家留学基金委对本人在英国爱丁堡大学留学访问的经费资助。经济基础决定上层建筑, 没有钱一切白搭。

感谢我的导师王挺教授对本人的精心指导和悉心培养, 您严谨治学的态度让我受益终生。感谢在我英国爱丁堡大学留学期间指导我的 Miles Osbonre 博士, 您对科研的敏锐洞察力以及极强的逻辑思维能力让我明白科研可以轻松地“玩”。

感谢国防科技大学自然语言处理组的张晓艳、刘伍颖、唐晋韬、魏登萍、周云、李岩、麻大顺、谢松县、刘培磊、岳大鹏、刘海池、汝承森、张文文、姜仁会、胡长龙、李欣奕, 和你们一同探索自然语言处理的未知领域让人回味; 感谢英国爱丁堡大学信息学院 348 办公室的 Saša Petrovic、Desmond Elliott、Diego Frassinelli、Eva Hasler、Michael Auli 和 Luke Shrimpton, 和你们仔细讨论我的课题细节以及英文的论述让我十分收益。

感谢戴波、雷鸣、林正帅、毛先领、张湘莉兰、任洪广、王鹤、吴诚堃标注 Twitter 观点检索相关数据, 感谢王铮标注 Twitter 传播观点检索相关数据。没有你们的无偿帮助, 我相信我的课题研究不会如此顺利。感谢 Victor Lavrenko 博士和 Micha Elsner 博士给予我 Twitter 观点检索课题宝贵的意见, 和你们讨论是我的荣幸。

感谢我从硕士到博士的室友邹丹、何明、陆化彪, 一起研究课题慢慢“变老”的过程值得怀念; 感谢我在爱丁堡期间最好的朋友王鹤和黄轩, 人生得不多的知己足以; 感谢在英国一同留学的杨俊刚、雷鸣、Chee-Ming Ting、陆亮、王铮、刘哲、马瑞、冯翌尧、卢恒、林正帅、曾旋、杨国利、何鑫、胡尽力、贺建森、杨丽莎、魏杰、罗家希, 谢谢你们让我拥有那些留学的“回忆”, 谢谢你们陪我那时的“孤独”。

感谢我的父母、奶奶、岳父、岳母对我生活上无微不至的照顾; 最后感谢我的爱人柳意, 谢谢你的支持, 爱你!

参考文献

- [1] Kaplan A M, Haenlein M. Users of the world, unite! The challenges and opportunities of Social Media [J]. Business horizons. 2010, 53 (1): 59–68.
- [2] Eisenstein J. What to do about bad language on the internet [C]. In Proceedings of NAACL-HLT. 2013: 359–369.
- [3] Jensen D, Neville J. Linkage and autocorrelation cause feature selection bias in relational learning [C]. In ICML. 2002: 259–266.
- [4] Taskar B, Abbeel P, Wong M-F, et al. Label and link prediction in relational data [C]. In Proceedings of the IJCAI Workshop on Learning Statistical Models from Relational Data. 2003.
- [5] Stringhini G, Kruegel C, Vigna G. Detecting spammers on social networks [C]. In Proceedings of the 26th Annual Computer Security Applications Conference. 2010: 1–9.
- [6] Xiang R, Neville J, Rogati M. Modeling relationship strength in online social networks [C]. In Proceedings of the 19th international conference on World wide web. 2010: 981–990.
- [7] Rossion B, Delvenne J-F, Debatisse D, et al. Spatio-temporal localization of the face inversion effect: an event-related potentials study [J]. Biological psychology. 1999, 50 (3): 173–189.
- [8] Speriosu M, Sudan N, Upadhyay S, et al. Twitter polarity classification with label propagation over lexical links and the follower graph [C]. In Proceedings of the First workshop on Unsupervised Learning in NLP. 2011: 53–63.
- [9] Mislove A, Viswanath B, Gummadi K P, et al. You are who you know: inferring user profiles in online social networks [C]. In Proceedings of the third ACM international conference on Web search and data mining. 2010: 251–260.
- [10] Lyons J. Semantics. 2 vols. 1977.
- [11] Wiebe J, Wilson T, Bruce R, et al. Learning subjective language [J]. Computational linguistics. 2004, 30 (3): 277–308.
- [12] Rachels J, Rachels S. The elements of moral philosophy [M]. Random House New York, 1986.
- [13] Pang B, Lee L. Opinion Mining and Sentiment Analysis [J]. Found. Trends Inf. Retr. 2008, 2 (1-2): 1–135.

-
-
- [14] Cambria E, White B. Jumping NLP curves: A review of natural language processing research [J]. IEEE Computational Intelligence Magazine. 2014, 9 (2): 48–57.
 - [15] Liu B. Sentiment analysis and opinion mining [J]. Synthesis Lectures on Human Language Technologies. 2012, 5 (1): 1–167.
 - [16] Kim S-M, Hovy E. Determining the sentiment of opinions [C]. In Proceedings of the 20th international conference on Computational Linguistics. 2004: 1367.
 - [17] Wiebe J M. Tracking point of view in narrative [J]. Computational Linguistics. 1994, 20 (2): 233–287.
 - [18] Dave K, Lawrence S, Pennock D M. Mining the peanut gallery: Opinion extraction and semantic classification of product reviews [C]. In Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web. 2003: 519–528.
 - [19] Liu Y, Huang X, An A, et al. ARSA: a sentiment-aware model for predicting sales performance using blogs [C]. In Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2007: 607–614.
 - [20] Oghina A, Breuss M, Tsagkias M, et al. Predicting imdb movie ratings using social media [M] // Oghina A, Breuss M, Tsagkias M, et al. Advances in information retrieval. Springer, 2012: 2012: 503–507.
 - [21] Joshi M, Das D, Gimpel K, et al. Movie reviews and revenues: An experiment in text regression [C]. In Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. 2010: 293–296.
 - [22] Sadikov E, Parameswaran A G, Venetis P. Blogs as Predictors of Movie Success. [C]. In ICWSM. 2009.
 - [23] Asur S, Huberman B A. Predicting the future with social media [C]. In Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on. 2010: 492–499.
 - [24] Zhang X, Fuehres H, Gloor P A. Predicting stock market indicators through twitter “I hope it is not as bad as I fear” [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2011, 26: 55–62.
 - [25] Bollen J, Mao H, Zeng X. Twitter mood predicts the stock market [J]. Journal of Computational Science. 2011, 2 (1): 1–8.

-
-
- [26] Tumasjan A, Sprenger T O, Sandner P G, et al. Predicting Elections with Twitter: What 140 Characters Reveal about Political Sentiment. [J]. ICWSM. 2010, 10: 178–185.
 - [27] Chen L, Wang W, Sheth A P. Are Twitter users equal in predicting elections? A study of user groups in predicting 2012 US Republican Presidential Primaries [M] // Chen L, Wang W, Sheth A P. Social informatics. Springer, 2012: 2012: 379–392.
 - [28] Metaxas P T, Mustafaraj E, Gayo-Avello D. How (not) to predict elections [C]. In Privacy, security, risk and trust (PASSAT), 2011 IEEE third international conference on and 2011 IEEE third international conference on social computing (SocialCom). 2011: 165–171.
 - [29] Gayo-Avello D, Metaxas P T, Mustafaraj E. Limits of electoral predictions using twitter. [C]. In ICWSM. 2011.
 - [30] Armstrong J S, Graefe A. Predicting elections from biographical information about candidates: A test of the index method [J]. Journal of Business Research. 2011, 64 (7): 699–706.
 - [31] Hong L, Dan O, Davison B D. Predicting popular messages in twitter [C]. In Proceedings of the 20th international conference companion on World wide web. 2011: 57–58.
 - [32] Toutanova K, Klein D, Manning C D, et al. Feature-rich part-of-speech tagging with a cyclic dependency network [C]. In Proceedings of the 2003 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics on Human Language Technology-Volume 1. 2003: 173–180.
 - [33] Gimpel K, Schneider N, O'Connor B, et al. Part-of-speech tagging for twitter: Annotation, features, and experiments [R]. 2010.
 - [34] Owoputi O, O'Connor B, Dyer C, et al. Improved part-of-speech tagging for online conversational text with word clusters [C]. In Proceedings of NAACL-HLT. 2013: 380–390.
 - [35] Finkel J R, Grenager T, Manning C. Incorporating non-local information into information extraction systems by gibbs sampling [C]. In Proceedings of the 43rd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics. 2005: 363–370.
 - [36] Ritter A, Clark S, Etzioni O, et al. Named entity recognition in tweets: an experimental study [C]. In Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2011: 1524–1534.

-
-
- [37] Foster J, Cetinoglu O, Wagner J, et al. From news to comment: Resources and benchmarks for parsing the language of web 2.0 [J]. 2011.
 - [38] Han B, Baldwin T. Lexical Normalisation of Short Text Messages: Makn Sens a# twitter. [C]. In ACL. 2011: 368–378.
 - [39] Han B, Cook P, Baldwin T. Lexical normalization for social media text [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST). 2013, 4 (1): 5.
 - [40] Han B, Cook P, Baldwin T. Automatically constructing a normalisation dictionary for microblogs [C]. In Proceedings of the 2012 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning. 2012: 421–432.
 - [41] Liu F, Weng F, Wang B, et al. Insertion, Deletion, or Substitution? Normalizing Text Messages without Pre-categorization nor Supervision. [J]. ACL (Short Papers). 2011, 11: 71–76.
 - [42] Liu X, Zhou M, Wei F, et al. Joint inference of named entity recognition and normalization for tweets [C]. In Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Long Papers-Volume 1. 2012: 526–535.
 - [43] Liu F, Weng F, Jiang X. A broad-coverage normalization system for social media language [C]. In Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Long Papers-Volume 1. 2012: 1035–1044.
 - [44] Hassan H, Menezes A. Social text normalization using contextual graph random walks [C]. In Proceedings of the 51th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2013.
 - [45] Finin T, Murnane W, Karandikar A, et al. Annotating named entities in Twitter data with crowdsourcing [C]. In Proceedings of the NAACL HLT 2010 Workshop on Creating Speech and Language Data with Amazon’s Mechanical Turk. 2010: 80–88.
 - [46] Liu X, Zhang S, Wei F, et al. Recognizing Named Entities in Tweets. [C]. In ACL. 2011: 359–367.
 - [47] Li C, Weng J, He Q, et al. TwiNER: named entity recognition in targeted twitter stream [C]. In Proceedings of the 35th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2012: 721–730.
 - [48] Liu X, Wei F, Zhang S, et al. Named entity recognition for tweets [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST). 2013, 4 (1): 3.

-
-
- [61] Rocchio J J. Relevance feedback in information retrieval [J]. 1971.
 - [62] Joachims T. Optimizing search engines using clickthrough data [C]. In Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2002: 133–142.
 - [63] Xue G-R, Zeng H-J, Chen Z, et al. Optimizing web search using web click-through data [C]. In Proceedings of the thirteenth ACM international conference on Information and knowledge management. 2004: 118–126.
 - [64] Joachims T, Granka L, Pan B, et al. Accurately interpreting clickthrough data as implicit feedback [C]. In Proceedings of the 28th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2005: 154–161.
 - [65] Radlinski F, Joachims T. Query chains: learning to rank from implicit feedback [C]. In Proceedings of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining. 2005: 239–248.
 - [66] Agichtein E, Brill E, Dumais S. Improving web search ranking by incorporating user behavior information [C]. In Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2006: 19–26.
 - [67] Agichtein E, Brill E, Dumais S, et al. Learning user interaction models for predicting web search result preferences [C]. In Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2006: 3–10.
 - [68] Radlinski F, Joachims T. Active exploration for learning rankings from click-through data [C]. In Proceedings of the 13th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2007: 570–579.
 - [69] Bao S, Xue G, Wu X, et al. Optimizing web search using social annotations [C]. In Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. 2007: 501–510.
 - [70] Duh K, Kirchhoff K. Learning to rank with partially-labeled data [C]. In Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2008: 251–258.
 - [71] Aslam J A, Kanoulas E, Pavlu V, et al. Document selection methodologies for efficient and effective learning-to-rank [C]. In Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2009: 468–475.

-
-
- [72] Qin T, Liu T-Y, Xu J, et al. LETOR: A benchmark collection for research on learning to rank for information retrieval [J]. Information Retrieval. 2010, 13 (4): 346–374.
 - [73] Xu J, Chen C, Xu G, et al. Improving quality of training data for learning to rank using click-through data [C]. In Proceedings of the third ACM international conference on Web search and data mining. 2010: 171–180.
 - [74] Burges C, Shaked T, Renshaw E, et al. Learning to rank using gradient descent [C]. In Proceedings of the 22nd international conference on Machine learning. 2005: 89–96.
 - [75] Cao Y, Xu J, Liu T-Y, et al. Adapting ranking SVM to document retrieval [C]. In Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2006: 186–193.
 - [76] Xu J, Li H. Adarank: a boosting algorithm for information retrieval [C]. In Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2007: 391–398.
 - [77] Quoc C, Le V. Learning to rank with nonsmooth cost functions [J]. Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems. 2007, 19: 193–200.
 - [78] Xu J, Liu T-Y, Lu M, et al. Directly optimizing evaluation measures in learning to rank [C]. In Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2008: 107–114.
 - [79] Valizadegan H, Jin R, Zhang R, et al. Learning to rank by optimizing ndcg measure [C]. In Advances in neural information processing systems. 2009: 1883–1891.
 - [80] Wang L, Lin J, Metzler D. Learning to efficiently rank [C]. In Proceedings of the 33rd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2010: 138–145.
 - [81] Dai N, Shokouhi M, Davison B D. Learning to rank for freshness and relevance [C]. In Proceedings of the 34th international ACM SIGIR conference on Research and development in Information Retrieval. 2011: 95–104.
 - [82] Chapelle O, Chang Y, Liu T-Y. Future directions in learning to rank. [J]. Journal of Machine Learning Research-Proceedings Track. 2011, 14: 91–100.
 - [83] boyd d, Golder S, Lotan G. Tweet, tweet, retweet: Conversational aspects of retweeting on twitter [C]. In System Sciences (HICSS), 2010 43rd Hawaii International Conference on. 2010: 1–10.

-
-
- [84] Yang Z, Guo J, Cai K, et al. Understanding retweeting behaviors in social networks [C]. In Proceedings of the 19th ACM international conference on Information and knowledge management. 2010: 1633–1636.
 - [85] Starbird K, Palen L. (How) will the revolution be retweeted?: information diffusion and the 2011 Egyptian uprising [C]. In Proceedings of the acm 2012 conference on computer supported cooperative work. 2012: 7–16.
 - [86] Comarella G, Crovella M, Almeida V, et al. Understanding factors that affect response rates in twitter [C]. In Proceedings of the 23rd ACM conference on Hypertext and social media. 2012: 123–132.
 - [87] Kupavskii A, Umnov A, Gusev G, et al. Predicting the Audience Size of a Tweet [C]. In Seventh International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. 2013.
 - [88] Jenders M, Kasneci G, Naumann F. Analyzing and predicting viral tweets [C]. In Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web companion. 2013: 657–664.
 - [89] Ahmed M, Spagna S, Huici F, et al. A peek into the future: predicting the evolution of popularity in user generated content [C]. In Proceedings of the sixth ACM international conference on Web search and data mining. 2013: 607–616.
 - [90] Bao P, Shen H-W, Huang J, et al. Popularity prediction in microblogging network: a case study on sina weibo [C]. In Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web companion. 2013: 177–178.
 - [91] Stajner T, Thomee B, Popescu A, et al. Automatic selection of social media responses to news [J]. ACM WSDM. 2013.
 - [92] Kothari A, Magdy W, Kareem Darwish A M, et al. Detecting Comments on News Articles in Microblogs [J]. ICWSM 2013. 2013.
 - [93] Li C, Sun A, Weng J, et al. Exploiting hybrid contexts for Tweet segmentation [C]. In Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2013: 523–532.
 - [94] Zhang J, Minami K, Kawai Y, et al. Personalized Web Search Using Emotional Features [M] // Zhang J, Minami K, Kawai Y, et al. Availability, Reliability, and Security in Information Systems and HCI. Springer, 2013: 2013: 69–83.
 - [95] Luo Z, Osborne M, Petrovic S, et al. Improving Twitter Retrieval by Exploiting Structural Information. [C]. In AAAI. 2012.

-
-
- [96] Luo Z, Osborne M, Wang T. Opinion Retrieval in Twitter. [C]. In ICWSM. 2012.
- [97] Luo Z, Wang T. Propagated Opinion Retrieval in Twitter. [C]. In WISE. 2013.
- [98] Luo Z, Osborne M, Tang J, et al. Who will retweet me?: finding retweeters in twitter [C]. In Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. 2013: 869–872.
- [99] Yuan S, Wang J, van der Meer M. Adaptive Keywords Extraction with Contextual Bandits for Advertising on Parked Domains [J]. Computing Research Repository. 2013, abs/1307.3573.
- [100] 张辉, 李国辉, 贾立, et al. 一种基于 TF·IEF 模型的在线新闻事件探测方法 [J]. 国防科技大学学报. 2013, 35 (3): 55–60.
- [101] 刘健, 李绮, 刘宝宏, et al. 基于话题模型的专家发现方法 [J]. 国防科技大学学报. 2013, 35 (2): 127–131.
- [102] 黄萱菁, 张奇, 吴苑斌. 文本情感倾向分析 [J]. 中文信息学报. 2011, 25 (6): 118–126.
- [103] Stone P J, Dunphy D C, Smith M S. The General Inquirer: A Computer Approach to Content Analysis. [M]. Cambridge, Massachusetts: MIT press, 1966.
- [104] Wilson T, Hoffmann P, Somasundaran S, et al. OpinionFinder: A system for subjectivity analysis [C]. In Proceedings of hlt/emnlp on interactive demonstrations. 2005: 34–35.
- [105] Taboada M, Grieve J. Analyzing Appraisal Automatically [C]. Stanford University, Stanford California, 2004.
- [106] Baccianella S, Esuli A, Sebastiani F. SentiWordNet 3.0: An Enhanced Lexical Resource for Sentiment Analysis and Opinion Mining. [C]. 2010: 2200–2204.
- [107] Agerri R, Garc I A-Serrano A. Q-WordNet: Extracting Polarity from WordNet Senses. [C]. Valletta, Malta, 2010.
- [108] 朱嫣岚, 闵锦, 周雅倩, et al. 基于 HowNet 的词汇语义倾向计算 [J]. 中文信息学报. 2006, 20 (1): 14–20.
- [109] 朱征宇, 孙俊华. 改进的基于《知网》的词汇语义相似度计算 [J]. 计算机应用. 2013 (08): 2276–2279+2288. 页数: 5.
- [110] 黄硕, 周延泉. 基于知网和同义词词林的词汇语义倾向计算 [J]. 软件. 2013, 34 (2): 73–74,94.
- [111] 知网 HowNet 评价词词典. 2013.

-
-
- [112] Ku L W, Chen H H. Mining opinions from the Web: Beyond relevance retrieval [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2007, 58 (12): 1838–1850.
- [113] 情感词汇本体库. 2013.
- [114] 刘群, 李素建. 基于《知网》的词汇语义相似度计算 [C]. 中国台北, 2002.
- [115] Fellbaum C. WordNet: An Electronic Lexical Database [M]. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1998.
- [116] Hatzivassiloglou V, McKeown K R. Predicting the semantic orientation of adjectives [C]. 1997: 174–181.
- [117] Wilson T, Wiebe J, Hoffmann P. Recognizing contextual polarity in phrase-level sentiment analysis [C]. 2005: 347–354.
- [118] Wilson T, Wiebe J, Hoffmann P. Recognizing contextual polarity: An exploration of features for phrase-level sentiment analysis [J]. *Computational linguistics*. 2009, 35 (3): 399–433.
- [119] Bradley M M, Lang P J. Affective norms for English words (ANEW): Instruction manual and affective ratings [R]. 1999.
- [120] Nielsen F A R. A new ANEW: Evaluation of a word list for sentiment analysis in microblogs [J]. *arXiv preprint arXiv:1103.2903*. 2011.
- [121] Esuli A, Sebastiani F. Sentiwordnet: A publicly available lexical resource for opinion mining [C]. 2006: 417–422.
- [122] Thelwall M, Buckley K, Paltoglou G. Sentiment strength detection for the social web [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2012, 63 (1): 163–173.
- [123] Plutchik R. The nature of emotions [J]. *American Scientist*. 2001, 89 (4): 344–350.
- [124] Mohammad S M, Turney P D. Crowdsourcing a word–emotion association lexicon [J]. *Computational Intelligence*. 2013, 29 (3): 436–465.
- [125] Mohammad S M, Kiritchenko S, Zhu X. NRC-Canada: building the state-of-the-art in sentiment analysis of tweets [C]. 2013.
- [126] Kiritchenko S, Zhu X, Cherry C, et al. NRC-Canada-2014: Detecting Aspects and Sentiment in Customer Reviews [C]. 2014.
- [127] Tsai A C-R, Wu C-E, Tsai R T-H, et al. Building a concept-level sentiment dictionary based on commonsense knowledge [J]. *IEEE Intelligent Systems*. 2013, 28 (2): 22–30.

-
-
- [128] Cambria E, Olsher D, Rajagopal D. SenticNet 3: A common and common-sense knowledge base for cognition-driven sentiment analysis [C]. In Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2014.
- [129] 谢松县, 刘博, 王挺. 应用语义关系自动构建情感词典 [J]. 国防科技大学学报. 2014, 36 (3): 111–115.
- [130] Turney P D. Thumbs up or thumbs down?: semantic orientation applied to unsupervised classification of reviews [C]. 2002: 417–424.
- [131] Lin Z, Tan S, Cheng X, et al. Effective and efficient?: bilingual sentiment lexicon extraction using collocation alignment [C]. In Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management. New York, NY, USA, 2012: 1542–1546.
- [132] 张华平. NLP/ICTCLAS2014 分词系统. 08-01 2014.
- [133] 鲁松, 白硕. 自然语言处理中词语上下文有效范围的定量描述 [J]. 计算机学报. 2001, 24 (7): 742–747.
- [134] Lourenco Jr R, Veloso A, Pereira A, et al. Economically-efficient sentiment stream analysis [C]. In Proceedings of the 37th international ACM SIGIR conference on Research & development in information retrieval. 2014: 637–646.
- [135] Pang B, Lee L, Vaithyanathan S. Thumbs up?: sentiment classification using machine learning techniques [C/OL]. In Proceedings of the ACL-02 conference on Empirical methods in natural language processing - Volume 10. Stroudsburg, PA, USA, 2002: 79–86. <http://dx.doi.org/10.3115/1118693.1118704>.
- [136] Barbosa L, Feng J. Robust sentiment detection on twitter from biased and noisy data [C]. In Proceedings of the 23rd International Conference on Computational Linguistics: Posters. 2010: 36–44.
- [137] Hu X, Tang J, Gao H, et al. Unsupervised sentiment analysis with emotional signals [C]. In Proc. of the 22nd WWW. 2013: 607–618.
- [138] Wang X, Wei F, Liu X, et al. Topic sentiment analysis in twitter: a graph-based hashtag sentiment classification approach [C]. In Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management. 2011: 1031–1040.
- [139] Asiaee T A, Tepper M, Banerjee A, et al. If you are happy and you know it... tweet [C]. In Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management. 2012: 1602–1606.

-
-
- [140] Hu X, Tang L, Tang J, et al. Exploiting social relations for sentiment analysis in microblogging [C]. In Proceedings of the sixth ACM international conference on Web search and data mining. 2013: 537–546.
- [141] Calais Guerra P H, Veloso A, Meira Jr W, et al. From bias to opinion: a transfer-learning approach to real-time sentiment analysis [C]. In Proceedings of the 17th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2011: 150–158.
- [142] Thelwall M, Buckley K, Paltoglou G, et al. Sentiment strength detection in short informal text [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology. 2010, 61 (12): 2544–2558.
- [143] Go A, Bhayani R, Huang L. Twitter Sentiment Classification using Distant Supervision [J]. Processing. 2009: 1–6.
- [144] Marchetti-Bowick M, Chambers N. Learning for microblogs with distant supervision: Political forecasting with twitter [C]. In Proceedings of the 13th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics. 2012: 603–612.
- [145] Loper E, Bird S. NLTK: The Natural Language Toolkit [EB/OL]. 2002. <http://arxiv.org/abs/cs/0205028>.
- [146] Chang C-C, Lin C-J. LIBSVM: A library for support vector machines [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology. 2011, 2: 27:1–27:27. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
- [147] Lu Y, Zhai C. Opinion integration through semi-supervised topic modeling [C]. In Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web. 2008: 121–130.
- [148] Davidov D, Tsur O, Rappoport A. Enhanced sentiment learning using twitter hashtags and smileys [C]. In Proceedings of the 23rd International Conference on Computational Linguistics: Posters. 2010: 241–249.
- [149] Jiang L, Yu M, Zhou M, et al. Target-dependent twitter sentiment classification [C]. In Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies-Volume 1. 2011: 151–160.
- [150] Li G, Hoi S C, Chang K, et al. Micro-blogging sentiment detection by collaborative online learning [C]. In Data Mining (ICDM), 2010 IEEE 10th International Conference on. 2010: 893–898.

-
-
- [151] Tan C, Lee L, Tang J, et al. User-level sentiment analysis incorporating social networks [C]. In Proceedings of the 17th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2011: 1397–1405.
 - [152] Mostafa M M. More than words: Social networks' text mining for consumer brand sentiments [J]. Expert Systems with Applications. 2013, 40 (10): 4241–4251.
 - [153] Malouf R, Mullen T. Taking sides: User classification for informal online political discourse [J]. Internet Research. 2008, 18 (2): 177–190.
 - [154] Liu H, Zhao Y, Qin B, et al. Comment target extraction and sentiment classification [J]. Journal of Chinese Information Processing. 2010, 24 (1): 84–89.
 - [155] Zhai Z, Liu B, Xu H, et al. Constrained LDA for grouping product features in opinion mining [M] // Zhai Z, Liu B, Xu H, et al. Advances in knowledge discovery and data mining. Springer, 2011: 448–459.
 - [156] Blei D M, Ng A Y, Jordan M I. Latent dirichlet allocation [J]. the Journal of machine Learning research. 2003, 3: 993–1022.
 - [157] Rosen-Zvi M, Griffiths T, Steyvers M, et al. The author-topic model for authors and documents [C]. In Proceedings of the 20th conference on Uncertainty in artificial intelligence. 2004: 487–494.
 - [158] Ramage D, Hall D, Nallapati R, et al. Labeled LDA: A supervised topic model for credit attribution in multi-labeled corpora [C]. In Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Volume 1-Volume 1. 2009: 248–256.
 - [159] Mei Q, Ling X, Wondra M, et al. Topic sentiment mixture: modeling facets and opinions in weblogs [C]. In Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. 2007: 171–180.
 - [160] Lin C, He Y. Joint sentiment/topic model for sentiment analysis [C]. In Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management. 2009: 375–384.
 - [161] Hannon J, Bennett M, Smyth B. Recommending twitter users to follow using content and collaborative filtering approaches [C]. In Proc. of the 4th ACM ReSys. 2010: 199–206.
 - [162] Macskassy S A, Michelson M. Why do people retweet? anti-homophily wins the day! [C]. In ICWSM. 2011.
 - [163] Ramage D, Dumais S, Liebling D. Characterizing Microblogs with Topic Models [C]. In ICWSM. 2010.

- [164] Xu Z, Zhang Y, Wu Y, et al. Modeling user posting behavior on social media [C]. In Proc. of the 35th ACM SIGIR. 2012: 545–554.
- [165] Pennacchiotti M, Popescu A-M. A Machine Learning Approach to Twitter User Classification. [C]. In ICWSM. 2011.
- [166] Engbert K, Wohlschläger A, Thomas R, et al. Agency, subjective time, and other minds. [J]. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 2007, 33 (6): 1261.
- [167] Stein D, Wright S. Subjectivity and Subjectivisation: Linguistic Perspectives [M/OL]. Cambridge University Press, 2005. <http://books.google.com.hk/books?id=mWlS5Q8uBYcC>.
- [168] Lin C, He Y, Everson R. A comparative study of Bayesian models for unsupervised sentiment detection [C]. In Proceedings of the Fourteenth Conference on Computational Natural Language Learning. 2010: 144–152.
- [169] Chen J, Nairn R, Nelson L, et al. Short and tweet: experiments on recommending content from information streams [C]. In Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2010: 1185–1194.
- [170] Abel F, Gao Q, Houben G-J, et al. Analyzing user modeling on twitter for personalized news recommendations [M] // Abel F, Gao Q, Houben G-J, et al. UMAP. Springer, 2011: 2011: 1–12.
- [171] Gangemi A, Presutti V, Reforgiato Recupero D. Frame-Based Detection of Opinion Holders and Topics: A Model and a Tool [J]. Computational Intelligence Magazine, IEEE. 2014, 9 (1): 20–30.
- [172] Weng J, Lim E-P, Jiang J, et al. TwitterRank: finding topic-sensitive influential twitterers [C]. In Proc. of the third ACM WSDM. 2010: 261–270.
- [173] Řehůřek R, Sojka P. Software Framework for Topic Modelling with Large Corpora [C]. In Proceedings of the LREC 2010 Workshop on New Challenges for NLP Frameworks. Valletta, Malta, May 2010: 45–50. <http://is.muni.cz/publication/884893/en>.
- [174] Walton D N. Bias, critical doubt and fallacies [J]. Argumentation and Advocacy. 1991, 28: 1–22.
- [175] Li R, Wang S, Deng H, et al. Towards social user profiling: unified and discriminative influence model for inferring home locations [C]. In KDD. 2012: 1023–1031.

-
-
- [176] Lazarsfeld P F, Merton R K. Friendship as a social process: A substantive and methodological analysis [M] // Berger M, Abel T. Freedom and control in modern society. New York: Van Nostrand, 1954, 1954:.
 - [177] McPherson M, Smith-Lovin L, Cook J M. Birds of a feather: Homophily in social networks [J]. Annual review of sociology. 2001: 415–444.
 - [178] Thelwall M. Emotion homophily in social network site messages [J]. First Monday. 2010, 15 (4).
 - [179] Goldenberg J, Libai B, Muller E. Talk of the network: A complex systems look at the underlying process of word-of-mouth [J]. Marketing letters. 2001, 12 (3): 211–223.
 - [180] Kempe D, Kleinberg J, Tardos É. Maximizing the spread of influence through a social network [C]. In Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2003: 137–146.
 - [181] Cheng J, Adamic L, Dow P A, et al. Can cascades be predicted? [C]. In Proceedings of the 23rd international conference on World wide web. 2014: 925–936.
 - [182] Moore J, Haggard P. Awareness of action: Inference and prediction [J]. Consciousness and cognition. 2008, 17 (1): 136–144.
 - [183] Hyman J. Three Fallacies about Action [J]. Behavioral and Brain Sciences. 2000, 23: 665–666.
 - [184] Suh B, Hong L, Pirolli P, et al. Want to be retweeted? large scale analytics on factors impacting retweet in twitter network [C]. In Social Computing (SocialCom), 2010 IEEE Second International Conference on. 2010: 177–184.
 - [185] Petrovic S, Osborne M, Lavrenko V. RT to Win! Predicting Message Propagation in Twitter. [C]. In ICWSM. 2011.
 - [186] Naveed N, Gottron T, Kunegis J, et al. Bad News Travel Fast: A Content-based Analysis of Interestingness on Twitter [C]. In WebSci '11: Proceedings of the 3rd International Conference on WebScience. 2011.
 - [187] Naveed N, Gottron T, Kunegis J, et al. Searching microblogs: coping with sparsity and document quality [C]. In Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management. 2011: 183–188.
 - [188] Feng W, Wang J. Retweet or not?: personalized tweet re-ranking [C]. In Proceedings of the sixth ACM international conference on Web search and data mining. 2013: 577–586.

- [189] Pfitzner R, Garas A, Schweitzer F. Emotional Divergence Influences Information Spreading in Twitter. [C]. In ICWSM. 2012.
- [190] Lek H H, Poo D C. Aspect-Based Twitter Sentiment Classification [C]. In Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2013 IEEE 25th International Conference. 2013: 366–373.
- [191] Cialdini R B, Goldstein N J. Social influence: Compliance and conformity [J]. *Annu. Rev. Psychol.* 2004, 55: 591–621.
- [192] Petrović S, Osborne M, Lavrenko V. Streaming first story detection with application to twitter [C]. In Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. 2010: 181–189.
- [193] Becker H, Naaman M, Gravano L. Beyond Trending Topics: Real-World Event Identification on Twitter. [C]. In ICWSM. 2011.
- [194] Weng J, Lee B-S. Event Detection in Twitter. [C]. In ICWSM. 2011.
- [195] Naaman M, Becker H, Gravano L. Hip and trendy: Characterizing emerging trends on Twitter [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2011, 62 (5): 902–918.
- [196] Benson E, Haghighi A, Barzilay R. Event discovery in social media feeds [C]. In Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies-Volume 1. 2011: 389–398.
- [197] Petrović S, Osborne M, Lavrenko V. Using paraphrases for improving first story detection in news and Twitter [C]. In Proceedings of The 2012 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2012: 338–346.
- [198] Kanhabua N, Nejdl W. Understanding the Diversity of Tweets in the Time of Outbreaks [C]. In Proceedings of the 22nd international conference on World Wide Web companion. 2013: 1335–1342.
- [199] Sakaki T, Okazaki M, Matsuo Y. Earthquake shakes Twitter users: real-time event detection by social sensors [C]. In Proceedings of the 19th international conference on World wide web. 2010: 851–860.
- [200] Paul M J, Dredze M. You Are What You Tweet: Analyzing Twitter for Public Health. [C]. In ICWSM. 2011.

-
-
- [201] Aramaki E, Maskawa S, Morita M. Twitter catches the flu: Detecting influenza epidemics using twitter [C]. In Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2011: 1568–1576.
 - [202] Abel F, Hauff C, Houben G-J, et al. Twitcident: fighting fire with information from social web streams [C]. In Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web. 2012: 305–308.
 - [203] Yin J, Karimi S, Robinson B, et al. ESA: emergency situation awareness via microbloggers [C]. In Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management. 2012: 2701–2703.
 - [204] Efron M, Golovchinsky G. Estimation methods for ranking recent information [C]. In Proceedings of the 34th international ACM SIGIR conference on Research and development in Information Retrieval. 2011: 495–504.
 - [205] Metzler D, Cai C, Hovy E. Structured event retrieval over microblog archives [C]. In Proceedings of the 2012 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2012: 646–655.
 - [206] Zhang X, He B, Luo T, et al. Query-biased learning to rank for real-time twitter search [C]. In Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management. 2012: 1915–1919.
 - [207] Soboroff I, McCullough D, Lin J, et al. Evaluating real-time search over tweets [J]. Proc. ICWSM. 2012: 943–961.
 - [208] Choi J, Croft W B. Temporal models for microblogs [C]. In Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management. 2012: 2491–2494.
 - [209] Amati G, Amodeo G, Gaibisso C. Survival analysis for freshness in microblogging search [C]. In Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management. 2012: 2483–2486.
 - [210] Miyanishi T, Seki K, Uehara K. Combining recency and topic-dependent temporal variation for microblog search [M] // Miyanishi T, Seki K, Uehara K. Advances in Information Retrieval. Springer, 2013: 2013: 331–343.
 - [211] Meij E, Weerkamp W, de Rijke M. Adding semantics to microblog posts [C]. In Proceedings of the fifth ACM international conference on Web search and data mining. 2012: 563–572.

- [212] Cassidy T, Ji H, Ratnov L-A, et al. Analysis and Enhancement of Wikification for Microblogs with Context Expansion. [C]. In COLING. 2012: 441–456.
- [213] Osborne M, Petrovic S, McCreddie R, et al. Bieber no more: First story detection using Twitter and Wikipedia [C]. In Proceedings of the SIGIR Workshop on Time-aware Information Access. 2012.
- [214] Dong A, Zhang R, Kolari P, et al. Time is of the essence: improving recency ranking using twitter data [C]. In Proceedings of the 19th international conference on World wide web. 2010: 331–340.
- [215] Phelan O, McCarthy K, Bennett M, et al. On using the real-time web for news recommendation & discovery [C]. In Proceedings of the 20th international conference companion on World wide web. 2011: 103–104.
- [216] Tsagkias M, de Rijke M, Weerkamp W. Linking online news and social media [C]. In Proceedings of the fourth ACM international conference on Web search and data mining. 2011: 565–574.
- [217] Becker H, Iter D, Naaman M, et al. Identifying content for planned events across social media sites [C]. In Proceedings of the fifth ACM international conference on Web search and data mining. 2012: 533–542.
- [218] Petrovic S, Osborne M, McCreddie R, et al. Can Twitter replace Newswire for breaking news? [C]. In Proceedings of the 7th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. 2013.
- [219] Chang Y, Dong A, Kolari P, et al. Improving recency ranking using twitter data [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST). 2013, 4 (1): 4.

作者在学期间取得的学术成果

发表的学术论文

- [1] Zhunchen Luo, Miles Osborne, Sasa Petrovic and Ting Wang. Improving Twitter Retrieval by Exploiting Structural Information. In *Proceedings of the Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2012)*, Toronto, Canada, July 2012. (CCF A 类会议, 人工智能领域顶级会议)
- [2] Zhunchen Luo, Miles Osborne, Jintao Tang and Ting Wang. Who Will Retweet Me? Finding Retweeters in Twitter. In *Proceedings of the Thirty-Sixth International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR 2013)*, Dublin, Ireland, July 2013. (CCF A 类会议, 信息检索领域顶级会议, 获得会议旅行奖金 1300 美元)
- [3] Zhunchen Luo, Miles Osborne and Ting Wang. Opinion Retrieval in Twitter. In *Proceedings of the Sixth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (AAAI-ICWSM 2012)*, Dublin, Ireland, June 2012. (社交媒体领域顶级会议, 获得会议旅行奖金 300 美元)
- [4] Zhunchen Luo, Miles Osborne and Ting Wang. An Effective Approach to Tweets Opinion Retrieval. To appear in **World Wide Web Journal**. (SCI 期刊, 影响因子 1.196)
- [5] Zhunchen Luo, Jintao Tang and Ting Wang. Propagated Opinion Retrieval in Twitter. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Web Information System Engineering (WISE 2013)*, Nanjing, China, October 2013. (CCF C 类会议, 信息检索与数据挖掘领域重要会议)
- [6] Zhunchen Luo, Jintao Tang and Ting Wang. Improving Keyphrase Extraction from Web News by Exploiting Comments Information. In *Proceedings of the Fifteenth International Asia-Pacific Web Conference (APWeb 2013)*, Sydney, Australia, April 2013. (CCF C 类会议, 信息检索与数据挖掘领域重要会议)
- [7] Zhunchen Luo, Lan Rao, Chengsen Ru and Ting Wang. Finding High-Quality Posts from Microblogging Conversations. In *the Eighth International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2011)*, Changsha, China, July, 2011.

- [8] 罗准辰, 王挺. 基于分离模型的中文关键词提取算法研究. 中文信息学报, 2009, 23 (01): 63-70.
- [9] 罗准辰, 王挺. 搜索词同现网络研究. 第六届全国信息检索学术会议 (**CCIR 2010**), 镜泊湖, 2010 年 8 月.