

DOI:10.7652/xjtuxb201411018

一种融合词序信息的多粒度文本话题情感联合模型

赵煜, 邵必林, 边根庆
(西安建筑科技大学管理学院, 710055, 西安)

摘要: 针对基本话题模型只能抽取粗粒度上下文信息的问题,通过对潜在狄里克雷分配(LDA)模型进行扩展,建立了一种利用词序信息的多粒度话题情感联合模型(MTSU-Col)。MTSU-Col 模型客观表达了词汇、全局/局部话题、情感标签和词序信息之间的关联关系,使模型中话题和情感的建模更加符合文本的语义表达,有效解决了现有话题、情感分析方法存在的领域依赖问题,从而实现了文本多粒度话题信息和情感倾向信息的同步非监督获取。实验表明:利用 MTSU-Col 模型对文本进行情感倾向性分类,可使综合评价指标 F_1 值达到 84%,整体性能与监督分类方法支持向量机(SVM)类似,均优于未采用词序信息的分析方法。由于挖掘话题集合具有层次化、语义相关的特点,因此 MTSU-Col 模型对观点挖掘是可行、有效的。

关键词: 话题模型;文本情感分析;联合模型;词序信息

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2014)11-0103-06

A Joint Model for Multi-Granularity Topics and Sentiments with Fusing Word Order Information

ZHAO Yu, SHAO Bilin, BIAN Genqing
(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: A joint model for multi-granularity topics and sentiments (MTSU-Col model) based on an extension to LDA model by incorporating collocation is proposed to solve the problem that the basic topic model captures only coarse-granularity contextual information. The MTSU-Col model objectively expresses the correlative relationship among words, global\local topics, sentiment labels and collocation, allows us to infer topics and sentiment information, and provides a closer match to real semantic representation contained in texts. The MTSU-Col model synchronously realizes an unsupervised mining of multi-granularity topics and sentiment information, and effectively solves the domain dependent problem in existing methods. Experimental results show that the proposed model achieves F_1 of 84% for sentiment classification, and its performance is comparable to the performance of SVM methods. Since the mining collection of topics is hierarchy and semantic related, it is feasible and effective to use the proposed model for opinion mining.

Keywords: topic model; text sentiment analysis; unification model; collocation

网络评论文本具有海量、复杂化的特点,促使人们利用自动评论文本挖掘技术^[1]进行人工难以完成的深层次、智能化的评论文本分析。评论文本挖掘包括话题挖掘技术、文本情感倾向性分类技术以及观点挖掘技术。话题挖掘技术主要抽取文本中的客观信息^[2],但无法抽取情感语义信息。情感倾向性分类技术利用各类文本分类算法判别文本的主客观属性或褒贬倾向属性^[3-4],这一类方法只能对整篇

评论进行情感分析,缺乏对话题等深层次语义对象的情感分析,因此无法进行细粒度文本情感信息获取。观点挖掘技术在获取客观话题信息和主观情感倾向性信息的基础上,挖掘话题与子话题、话题与情感倾向信息之间的关联信息^[5-6],但评价特征集合没有明确的语义关系^[6],需要利用领域知识解决评价特征集合的冗余问题^[5]。

潜在狄里克雷分配(LDA)模型^[7]是一个完全的生成模型,具有良好的数学基础和拓展性,LDA模型及其扩展模型在文本分类、情感分析等领域受到了越来越多的关注^[8-12]。Lin等(记为Lin模型)在LDA模型中加入了情感标记节点,模型中文本与多个文本-话题条件分布相关,词汇生成需同时考虑话题和情感信息^[10]。利用Lin模型进行篇章级情感分析的整体效果优于监督分类方法,但Lin模型仅面向篇章级分析,无法挖掘评价特征之间的语义关系。Titov等提出了完整的评价特征挖掘方法和情感倾向性预测方法^[11],由于需要外部信息来辅助情感倾向性判断,属于监督学习方法。Jo等提出的方法^[12]是以假定句子中所有的词来自一致的话题和情感为前提条件,强制性地缩小了词汇之间的主题联系,与客观情况并不相符。

针对上述研究存在的问题,本文提出了一种利用词序信息的多粒度话题情感联合模型(MTSU-Col),用户可以同步进行评价对象挖掘和情感倾向性分类2个任务。该模型将LDA模型进行扩展,同时融入了文本的情感和话题信息,每个句子都采样情感标签,每个词都采样全局/局部主题标签,利用词序信息建模方法^[13]使MTSU-Col模型更加贴近文本的真实语义。MTSU-Col模型采用非监督学习方法,不需要任何领域相关的先验知识,具有领域独立性。实验表明,MTSU-Col模型挖掘的评价特征集合具有明确的语义关系,从而大量减少了冗余评价特征,篇章级情感倾向性分类的整体效果优于一般的监督分类方法。

1 MTSU-Col模型的建立

MTSU-Col模型将话题分为全局话题和局部话题,全局话题混合分布固定不变,局部话题混合分布随上下文环境变化。评论文本由短句构成,由于字数较少,短句通常是文本情感表达的基本单元,因此MTSU-Col模型在句子级采样情感标签并引入滑动窗口随机变量中起到了记录局部话题变化的作用。

假设语料库中包含 D 个文档,共有 K_1 个全局

话题, K_2 个局部话题;共有 S 种文本情感;文本 d 由 H 个句子构成;每个滑动窗口由 M 个句子构成;每个句子由 N 个词汇构成。对语料库进行去重操作后,词汇表中的词汇数量为 V 。利用贝叶斯网络表示MTSU-Col模型如图1所示。

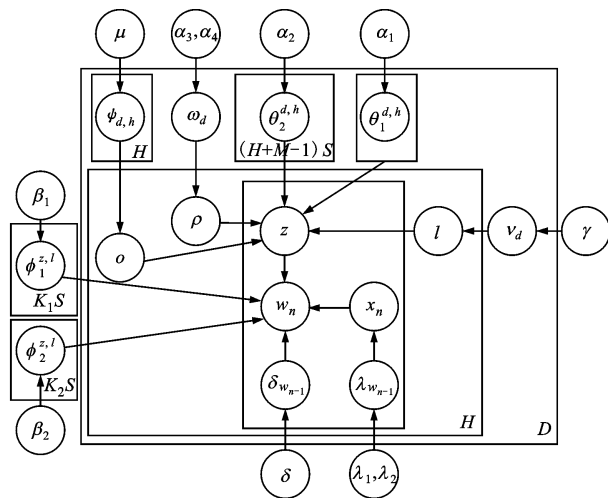


图1 MTSU-Col模型

在图1中, w_n 表示词汇, z 表示词汇的话题, l 表示句子的情感, ρ 表示句子的情感选择标记, o 表示句子所属的滑动窗口, x_n 表示词序搭配标记, $\phi_1^{z,l}$ 表示与全局话题、情感相关的词汇概率分布, $\phi_2^{z,l}$ 表示与局部话题、情感相关的词汇概率分布, $\theta_1^{d,h}$ 表示与情感相关的全局话题概率分布, $\theta_2^{d,h}$ 表示与情感、滑动窗口相关的局部话题概率分布, v_d 表示文本的情感概率分布, ω_d 表示话题选择标记的概率分布, $\phi_{d,h}$ 表示滑动窗口的概率分布, $\lambda_{w_{n-1}}$ 表示词序搭配的概率分布, $\delta_{w_{n-1}}$ 表示词汇连接的概率分布。 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 、 μ 、 δ 、 γ 是参数, α_3 、 α_4 、 λ_1 、 λ_2 是Beta分布参数。

MTSU-Col模型生成过程的描述如下:当 $x_n = 0$ 词汇由话题、情感相关的词汇概率分布采样;当 $x_n = 1$ 词汇采样自词汇连接的概率分布。MTSU-Col模型生成过程如下。

(1)对于每个全局话题 z 和情感 l ,从参数为 β_1 的Dirichlet分布中,采样多项式分布 $\phi_1^{z,l} \sim \text{Dir}(\beta_1)$,Dir表示Dirichlet分布。

(2)对于每个局部话题 z 和情感倾向标注 l ,采样多项式分布 $\phi_2^{z,l} \sim \text{Dir}(\beta_2)$ 。

(3)对于每个文本 d 和情感 l ,采样多项式分布 $\theta_1^{d,l} \sim \text{Dir}(\alpha_1)$;对于文本 d 中的句子 h ,采样多项式分布 $\phi_{d,h} \sim \text{Dir}(\mu)$;对于每个 l 和 o ,采样多项式分布 $\theta_2^{o,l} \sim \text{Dir}(\alpha_2)$;从参数为 α_3 、 α_4 的Beta分布中,采

样二项分布 $\tilde{\omega}_d \sim \text{Beta}(\alpha_3)$, Beta 表示 Beta 分布; 采样多项式分布 $\nu_d \sim \text{Dir}(\gamma)$ 。

(4) 对于每个句子从 ν_d 中采样 l , 从 $\phi_{d,h}$ 中采样 o , 从 $\tilde{\omega}_d$ 中抽取 ρ 。

(5) 对于每个词汇采样二项分布 $\lambda_{w_{n-1}} \sim \text{Beta}(\lambda_1, \lambda_2)$, 从 $\lambda_{w_{n-1}}$ 中抽取 x_n ; 如果 $x_n=0$ 且 $\rho=1$, 从 $\theta_1^{d,l}$ 中采样 z , 从 $\Phi_1^{z,l}$ 中采样 w_n ; 如果 $\rho=2$, 从 $\theta_2^{d,l}$ 中采样 z , 从 $\Phi_2^{z,l}$ 中采样 w_n ; 如果 $x_n=1$, 采样多项式分布 $\sigma_{w_{n-1}} \sim \text{Dir}(\delta)$; 从 $\delta_{w_{n-1}}$ 中采样 w_n 。

2 MTSU-Col 模型推理及分析

Gibbs 采样算法是 MCMC (Markov Chain Monte Carlo) 算法的一种, 多用于贝叶斯图模型求解中。与变分贝叶斯方法相比较, Gibbs 采样方法描述简单且容易实现, 是目前 LDA 及扩展模型最常用的参数估计方法^[8,14]。本文采用 Gibbs 采样算法对 MTSU-Col 模型进行推理。

为了描述方便, 定义 w_i 为词汇记号, 表示 w_i 出现在第 d 个文本的第 n 个位置, 属于文本 d 的第 h 个句子; l_h 表示 w_i 所属句子的情感标注结果; z_i 表示词汇记号 w_i 所属话题。依据 MTSU-Col 模型生成过程分为 2 种情况。

(1) 当 $x_i=0$ 时, w_i 出现在句子 h 的滑动窗口 o 中, 属于全局话题 z , 且 $l_h=l$ 时的条件后验分布如下

$$P(z_i=z, \rho_i=1, o_i=o, l_h=l | z_{-i}, \rho_{-i}, o_{-i}, l_{-h}, W) \propto \frac{\beta_1 + n_{1,-w_i}^{z,l}}{V\beta_1 + n_1^{z,l}} \frac{\alpha_1 + n_{1,-z_i}^{d,l}}{K^1 \alpha^1 + n_1^{d,l}} \frac{\alpha_3 + n_{-o_i}^{d,o}}{\alpha_3 + \alpha_4 + n^{d,o}} \cdot \frac{\mu + n^{d,h}}{M\mu + n^{d,h}} \frac{\gamma + n_{-l_h}^d}{S\gamma + n^d} \quad (1)$$

式中: $n_{1,-w_i}^{z,l}$ 表示与词汇记号 w_i 内容一致, 且属于全局话题 z , 标注为 l 的词汇记号数; $n_1^{z,l}$ 表示属于全局话题 z , 标注为 l 的词汇记号数; $n_{1,-z_i}^{d,l}$ 表示在文本 d 中, 与词汇记号 w_i 属于同一全局话题, 且情感为 l 的词汇记号数; $n_1^{d,l}$ 表示在文本 d 中, 属于全局话题, 且情感为 l 的词汇记号数; $n_{-o_i}^{d,o}$ 表示在文本 d 的滑动窗口 o 中, 属于全局话题的句子数; $n^{d,o}$ 表示在文本 d 的滑动窗口 o 中包含的句子总数; $n^{d,h}$ 表示在文本 d 的句子 h 中包含的词汇记号总数; $n_{-l_h}^d$ 表示在文本 d 中, 与词汇记号 w_i 所属句子具有相同情感的句子数; n^d 表示文本 d 包含的句子总数。所有计数值均不考虑当前词汇记号, 并根据 x_i 取值进行统计。同理, 可以得到词汇记号采样自局部话题的条件后验分布。

(2) 当 $x_i=1$ 时, w_i 根据词汇连接的概率分布

产生, 因此当 w_i 出现在句子的滑动窗口中, 属于全局话题, 且 $l_h=l$ 的条件后验分布如下

$$P(z_i=z, \rho_i=1, o_i=o, l_h=l | z_{-i}, \rho_{-i}, o_{-i}, l_{-h}, W) \propto \frac{\alpha_1 + n_{1,-z_i}^{d,l}}{K^1 \alpha^1 + n_1^{d,l}} \frac{\alpha_3 + n_{-o_i}^{d,o}}{\alpha_3 + \alpha_4 + n^{d,o}} \frac{\mu + n^{d,h}}{M\mu + n^{d,h}} \frac{\gamma + n_{-l_h}^d}{S\gamma + n^d} \quad (2)$$

当 $x_i=1$ 时, 词汇记号属于局部话题的条件后验分布同理可得。

当 $x_i=1$ 时, x_i 的条件后验分布如下

$$P(x_i | x_{-i}, W, z, \rho, o, l) = \frac{\frac{n_{w_i}^{w_{i-1}} + \delta}{n_1^{w_{i-1}} + V\delta} \frac{n_{1-i-1}^{w_{i-1}} + \lambda_1}{n_1^{w_{i-1}} + \lambda_0 + \lambda_1}}{n_1^{w_{i-1}} + V\delta} \quad (3)$$

式中: $n_{w_i}^{w_{i-1}}$ 表示词汇记号 w_{i-1} 、 w_i 对应词汇组合构成词序搭配的次数; $n_{1-i-1}^{w_{i-1}}$ 表示以词汇记号 w_{i-1} 对应词汇为前续, 构成词序搭配的词汇记号数; $n^{w_{i-1}}$ 表示对应词汇出现的次数。 $x_i=0$ 时的条件后验分布同理可得。

利用马尔可夫链收敛状态下的抽样样本, 舍弃词汇记号, 将 w 作为唯一性词, 估计 MTSU-Col 模型参数如下

$$\hat{\pi}_{d,j} = \frac{\gamma + n_j^d}{S\gamma + \sum_j n_j^d} \quad (4)$$

$$\hat{\phi}_1^{z,j,w} = \frac{\beta_1 + n_1^{z,j,w}}{V\beta_1 + \sum_w n_1^{z,j,w}} \quad (5)$$

$$\hat{\phi}_2^{z,j,w} = \frac{\beta_2 + n_2^{z,j,w}}{V\beta_2 + \sum_w n_2^{z,j,w}} \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}_{w_2}^{w_1} = \frac{n_{w_2}^{w_1} + \delta}{n^{w_1} + V\delta} \quad (7)$$

式中: $\hat{\pi}_{d,j}$ 表示文本 d 的情感混合分布中情感 j 的概率估计; n_j^d 表示 d 中标注为情感 j 的句子数; $\hat{\phi}_1^{z,j,w}$ 表示 w 属于全局话题 z , 且标注为情感 j 的概率估计; $n_1^{z,j,w}$ 表示 w 属于全局话题 z , 且标注为情感 j 的次数; $\hat{\phi}_2^{z,j,w}$ 表示 w 属于局部话题 z , 且标注为情感 j 的概率估计; $n_2^{z,j,w}$ 表示 w 属于局部话题 z , 且标注为情感 j 的次数; $\hat{\sigma}_{w_2}^{w_1}$ 表示词汇间构成搭配的概率估计; $n_{w_2}^{w_1}$ 表示词汇间构成词序搭配的次数; n^{w_1} 表示前续词汇出现次数。利用式(4)~(7)中计算的参数值, 可以进行多粒度文本情感分析。

3 实验验证与分析

MTSU-Col 模型主要用于文本情感倾向性分类和全局/局部话题挖掘 2 个任务, 因此本文依据这 2 个任务对 MTSU-Col 模型进行验证。

3.1 数据集预处理

本文实验数据集由 3 部分构成,第 1 部分来自中科院谭松波研究员收集的中文情感挖掘语料集,选取其中酒店类评价文本,第 2 和第 3 部分是搜集于主流电商网站的关于书籍和手机的评价文本。针对短文本的特点,预处理过程还采取 3 项特殊措施,分别是:①仅选取出现频次高于 4 次的词汇进行实验;②将“,”号也作为分句的标志;③将包含感情色彩的“?”、“!”号作为词汇对待。

情感词典是提高文本情感倾向性分类效果的有效手段。本文首先采用知网提供的负面和正面评价词语作为基础情感词典,再对实验数据集进行统计,从基础情感词典中筛选出频率高于 30 的情感词,构成实验情感词典,整个构造过程与领域无关。在 MTSU-Col 模型推断的初始化阶段,若实验词汇记号出现在情感词典中,则将词汇记号情感倾向性初始化为对应值。

3.2 话题挖掘和情感分类实验

对 MTSU-Col 模型推断时,超参数赋值依据文献[10-11,13-14]中的经验值;全局话题数的确定通常采用多次实验调整法进行设置^[10-11],本文也采用该方法;与文献[11]处理方法一致,实验将局部话题数设置为评价特征数;情感标注类别数设置为 2。在 LDA 模型及其扩展模型的推断过程中,常用实验方法是将 Gibbs 抽样过程迭代 500~2 000 次,实验将迭代次数设置为 2 000 次。

3.2.1 多粒度话题挖掘实验 LDA 模型是一种具有代表性的话题模型,实验将 LDA 模型与 MTSU-Col 模型的话题挖掘效果进行对比,验证了利用词序信息、层次话题结构扩展 LDA 模型的有效性。LDA 模型中的参数设置与 MTSU-Col 模型一致,部分褒贬话题挖掘结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出,褒义全局词汇集是对单词类书籍的评价,贬义局部词汇集是书籍翻译质量的贬义评价。说明 MTSU-Col 模型挖掘的全局话题与评价对象相对应,局部话题与评价特征相对应。与 MTSU-Col 模型相比较,LDA 模型挖掘的话题没有将评价对象和评价特征区分开,话题 1 词汇集中既包含对数据库类书籍的整体评价,如“入门”、“基础”等词,也包含用户对书籍内容的评价,如“难”、“懂”等词。话题 2 词汇集是关于书籍包装的话题,既出现了“新”、“厚”等褒义词,也出现了“破”、“旧”等贬义词,不具有挖掘情感信息的功能。这验证了 MTSU-Col 模型在多层次话题挖掘方面的有效性。

表 1 话题挖掘对比实验结果

方法	话题挖掘结果					
	词汇集类别	词汇集				
MTSU-Col	褒义全局	好 全 联想 单词 质量 推荐 乱序 记忆 赞 词根 效果 速度 例句				
	贬义局部	难 一般 翻译 可以 难懂 入门 没 无法 难 不? 失望 通顺 不如				
LDA	话题 1	不错 新 书 ! 看 可以 不 学习 内容 难 一般 入门 懂 基础 数据库				
	话题 2	破 封面 可以 折 纸 脏 不错 书 一般 新 外观 厚 比较 旧 好 不错				

3.2.2 篇章级情感倾向性分类实验 Pang 提出的利用支持向量机(SVM)的篇章级情感倾向性分析方法^[3]是目前常用的标准比较系统,其中采用一元文法属性分类的结果最优。本文的实验采用了该比较系统(记为 Pang)。为了验证融入词序信息对篇章级情感分类结果的有效性,实验将不包含词序信息的话题情感联合模型(MTSU)作为比较系统,对 MTSU 模型的超参数赋值以及 Gibbs 采样设置与本文模型相一致。

针对短文本的特点,本文采用“,”号作为分句标志、引入领域无关情感词典等 2 项措施,来提高篇章级情感分析的准确率。措施验证实验结果如下。

从表 2 中可以得到:文本预处理阶段采用“,”号作为分句标志,解决了评价文本书写不规范,“,”号前后的句义表达不同的问题,有效提高了评价文本情感倾向性分类的准确率;情感词典是文本情感分析的重要参考依据,利用语料库词频信息对通用情感词典进行过滤,提高了文本情感倾向性分类的准确率。

表 2 文本情感倾向性的预测准确率

方法描述	准确率/%		
	Hotel	Book	Phone
不采用“,”号作为分句标志	67.9	70.1	62.1
不利用情感词典	53.3	56.2	51.7
利用知网原有情感词典	76.4	78.7	72.4
利用过滤后的情感词典	84.1	85.3	79.5

对大规模数据集进行检索和选取时,一般均采用准确率、召回率及综合评价指标 F_1 值作为数据分析结果的衡量指标。3 种分析方法的实验结果如图 2~图 4 所示。

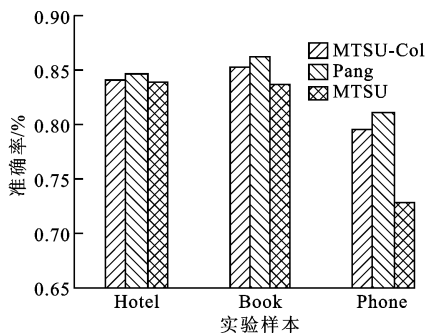


图 2 文本情感倾向性分类的准确率对比

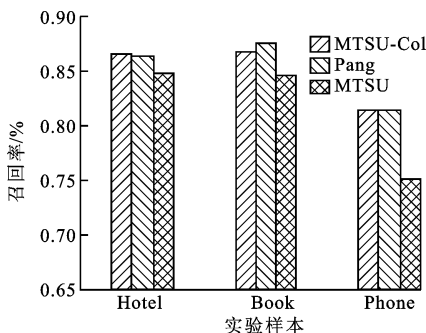


图 3 文本情感倾向性分类的召回率对比

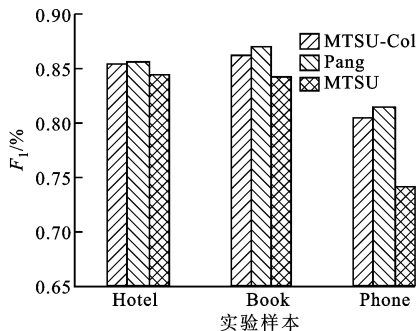


图 4 文本情感倾向性分类的 F_1 值对比

由图 2~图 4 可以看出:利用本文模型对实验数据集进行文本情感倾向性分类的平均准确率达到 83%,与 Pang 方法相比,只降低了 1%,与 MTSU 模型相比,则提高了 3%;本文模型的 F_1 值达到了 84%,低于 Pang 方法 0.7%,高于 MTSU 模型 3%,验证了将词序信息融入文本情感分析方法的有效性客观性。

4 结 论

本文针对基本话题模型只能抽取粗粒度上下文

信息的问题,利用词汇搭配信息对 LDA 模型进行扩展,建立了一种融合词序信息的多粒度话题情感联合模型 MTSU-Col 模型。MTSU-Col 模型考虑了词汇生成过程中全局/局部话题、句子情感标签之间的关联关系,对词序信息的建模使 MTSU-Col 模型更加贴近文本的真实语义,得到的结论如下。

(1)利用 MTSU-Col 模型进行文本情感倾向性分类的平均准确率达到 83%,平均 F_1 值达到 84%,整体性能与监督分类方法 SVM 类似,且均优于未采用词序信息的分析方法,挖掘话题集合具有层次化、语义相关的特点。

(2)MTSU-Col 模型更有利于提取文本真实语义,并且既不需要大量人工语料库标注,也不依赖于领域相关的先验知识,是一种整体性能优秀的非监督文本情感信息分析方法。

(3)MTSU-Col 模型对 LDA 模型进行了多粒度话题扩展,并融入了丰富的语言结构信息,进一步提高了文本观点挖掘结果的层次性和语义相关性。

参考文献:

- [1] LIU B, ZHANG L. A survey on opinion mining and sentiment analysis [M]. Berlin, Germany: Springer, 2012: 415-463.
- [2] MEI Q, ZHAI C. Discovering evolutionary theme patterns from text-an exploration of temporal text mining [C]//Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York, USA: ACM, 2005: 198-207.
- [3] PANG B, LEE L. Opinion mining and sentiment analysis [J]. Foundations and Trends in Information Retrieval, 2008, 2(1/2): 1-135.
- [4] TANG H, TAN S, CHENG X. A survey on sentiment detection of reviews [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(7): 10760-10773.
- [5] CARENINI G, NG R, PAULS A. Multi-document summarization of evaluative text [C]//Proceedings of the 11th European Chapter of the Association for Computational Linguistics. Trento, Italy: ACL, 2006: 3-7.
- [6] HU M, LIU B. Mining and summarizing customer reviews [C]//The 10th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining 2004. New York, USA: ACM, 2004: 168-177.
- [7] BLEI D M, NG A Y, JORDAN M I. Latent Dirichlet allocation [J]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3(4/5): 993-1022.

- [8] 徐戈,王厚峰. 自然语言处理中主题模型的发展 [J]. 计算机学报, 2011, 34(8): 1423-1436.
XU Ge, WANG Houfeng. The development of topics models in natural language processing [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(8): 1423-1436.
- [9] 冯时,景珊,杨卓,等. 基于 LDA 模型的中文微博话题意见领袖挖掘 [J]. 东北大学学报, 2013, 34(4): 490-494.
FENG Shi, JING Shan, YANG Zhuo, et al. Detecting topical opinion leaders based on LDA model in Chinese microblogs [J]. Journal of Northeastern University, 2013, 34(4): 490-494.
- [10] LIN C, HE Y. Joint sentiment/topic model for sentiment analysis [C]//The 18th ACM Conference on Information and Knowledge Management. New York, USA: ACM, 2009: 375-384.
- [11] TITOV I, MCDONALD R. Modeling online reviews with multi-grain topic models [C]//The 17th International World Wide Web Conference 2008. New York, USA: ACM, 2008: 111-120.
- [12] JO Y, OH A. Aspect and sentiment unification mode for online review analysis [C]//The 4th ACM International Conference on Web Search and Data Mining. New York, USA: ACM, 2011: 815-824.
- [13] GRIFFITHS T, STEYVERS M, TENENBAUM J B. Topics in semantic representation [J]. Psychological Review, 2007, 114(2): 211-244.
- [14] GRIFFITHS T, STEYVERS M. Finding scientific topics [C]//Proceedings of the National Academy of Sciences. New York, USA: United States National Academy of Sciences, 2004: 5228-5235.

(编辑 赵炜)

(上接第 85 页)

- LI Chengwu, ZHONG Jinhua, CHEN Xing. Defrost design of no-frost refrigerators about reliability [J]. China Appliance, 2012(S1): 142-147.
- [8] 宋新洲,范志军. 利用冷藏室循环热进行化霜预处理的蒸发器化霜系统的试验研究 [J]. 制冷技术, 2012, 32(1): 15-18.
SONG Xinzhou, FAN Zhijun. The experimental study of defrost system with cycling heat of refrigerating chamber pre-treatment program [J]. Chinese Journal of Refrigeration Technology, 2012, 32(1): 15-18.
- [9] 汤晓亮,王铁军,杨帆. 风冷冰箱除霜控制技术研究与应用 [J]. 制冷学报, 2013, 34(2): 49-54.
TANG Xiaoliang, WANG Tiejun, YANG Fan. Study on defrosting control technology of air cooled refrigerator [J]. Journal of Refrigeration, 2013, 34(2): 49-54.
- [10] 刘志成,赵渝生,韦刚. 无霜冰箱化霜加热控制方案探讨 [J]. 电器, 2013(增刊): 142-147.
LIU Zhicheng, ZHAO Yusheng, WEI Gang. Research on the control procedure of defrost heater of frost-free refrigerators [J]. China Appliance, 2013(S1): 142-147.
- 刘华,沈胜强,龚路远,等. 水平管降膜蒸发器温度损失的计算与分析. 2014, 48(4): 90-94. [doi:10.7652/xjtuxb201404016]
- 王增丽,刘飞龙,程军明,等. 单螺杆制冷压缩机单滑阀能量调节机构的几何特性分析. 2014, 48(7): 117-123. [doi:10.7652/xjtuxb201407020]
- 吴建华,李育勇,王刚,等. 丙烷滚动活塞压缩机指示图测量与性能分析. 2014, 48(3): 6-11. [doi:10.7652/xjtuxb201403002]
- 张雷,车立新,毕胜山,等. 天然气膨胀预冷混合制冷剂液化流程操作条件优化. 2014, 48(2): 111-117. [doi:10.7652/xjtuxb201402019]
- 李盼,吴江,管晓宏,等. 分析光伏电站输出特性的云遮挡太阳辐射模型. 2013, 47(8): 61-67. [doi:10.7652/xjtuxb201308011]
- 龙延,魏进家,吕琥. 不同倾角下平板型环路热管的实验研究. 2013, 47(5): 38-43. [doi:10.7652/xjtuxb201305007]
- 蔡君伟,孙皖,李斌,等. -150℃逆布雷顿空气制冷机动态温降特性研究. 2013, 47(3): 60-63. [doi:10.7652/xjtuxb201303011]
- 王栋,李蒙,武卫东,等. 小型 CO₂ 制冷系统最佳充注量的计算及实验研究. 2013, 47(3): 80-84. [doi:10.7652/xjtuxb201303015]
- 王猛,曹锋,夏春礼,等. HFC410A 空调系统中两级滑片式膨胀机的实验研究. 2013, 47(1): 27-31. [doi:10.7652/xjtuxb201301006]
- 刘灵辉,李梦京,刘秀芳,等. 以 R22 为冷却剂的闭式循环相变喷雾冷却实验研究. 2013, 47(1): 132-136. [doi:10.7652/xjtuxb201301025]

(编辑 赵炜 杜秀杰)

[本刊相关文献链接]

- 刘云,赵日晶,黄东. 并联双循环风冷冰箱冷冻/冷藏切换时制冷剂迁移研究. 2014, 48(3): 17-21. [doi:10.7652/xjtuxb201403004]
- 马娟丽,刘昌海,周蓁,等. 膨胀阀开度对跨临界 CO₂ 制冷系统火用损失影响的实验研究. 2014, 48(3): 12-16. [doi:10.7652/xjtuxb201403003]