

汉语并列复句的自动识别方法

吴云芳[†] 石静 万富强

北京大学信息科学技术学院, 北京 100871; [†] E-mail: wuyf@pku.edu.cn

摘要 句际关系中并列关系是分布最为广泛的关系, 并列关系的两个小句在语义联系上最为紧密, 因此并列关系的识别非常重要。作者尝试自动识别汉语的并列复句, 即小句之间的并列关系。并实验了基于词义的句子相似度计算、最大公共子串、最大谓词周边匹配长度、加重特定词语复现等方法, 并将其中 3 种方法进行了集成, 取得了较为理想的效果。

关键词 并列复句; 句际关系; 句子相似度; 集成方法

中图分类号 TP391

Automatic Identification of Chinese Coordination Discourse Relation

WU Yunfang[†], SHI Jing, WAN Fuqiang

School of Electronic Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871; [†] E-mail: wuyf@pku.edu.cn

Abstract Among discourse relations, coordination is the most widely distributed one, and arguments in coordination is most closely in semantic than other relations. Therefore, coordination relation identification is very important. This paper proposes several methods to automatically identify coordination relation, using sentence similarity calculation based on lexical similarity, maximum common substring calculation, maximum length matching around head word, special words strengthening. The experiment achieves promising results.

Key words coordinate complex sentence; discourse relation; sentence similarity; ensemble method

句际关系的研究属于篇章分析(discourse analysis)的范畴, 有重要的理论意义。修辞结构理论(rhetorical structure theory, RST)^[1]将篇章结构划分为两个层级: 高层是整篇文本的结构框架(schema), 基层是局部段落中句子与句子之间的连贯关系(coherence relations), 篇章的整体关系就由这两个层次搭建起来。廖秋忠^[2]指出, 篇章现象的研究可分为两大类: 篇章连贯与篇章结构的研究。本文的并列复句识别研究即是探索篇章微观层面的意义连贯。句际关系自动分析有着广泛的实践应用价值, 可应用于文本摘要、语篇生成、智能问答、情感分析、机器翻译和句法分析等, 大大提升相关应用系统的性能。

借鉴学习汉语语言学中有关复句的研究, 并在

人工标注一定语料的基础上, 我们总结归纳了面向汉语信息处理用的句际关系区分体系, 如表 1 所示。句际关系包含大、中、小 3 类共 16 种关系类型。广义并列关系包括等立、时序、选择、递进和顺承 5 种关系, 是多核心结构(multi-nuclear)。

并列关系是一种分布广泛的句际关系类型。根据吴峰文^[3]的统计, 267 个无标的隐性句际关系中, 并列关系所占比例为 68%。我们前期标注了《人民日报》语料中 792 个句子的句际关系, 其中并列关系出现最多, 占据比例为 21%。另据考察, 并列关系的两个小句在语义联系上最为紧密, 往往处于句际层级结构的最底层, 因此识别出并列关系可以降低后续句际关系分析的难度。

本文的研究目标是自动识别和标注出语料中的

863 计划(2012AA011101)和九十八年度蒋经国国际学术交流基金会项目(RG013-D-09)资助

收稿日期: 2012-05-31; 修回日期: 2012-09-03; 网络出版时间: 2012-10-26 17:49

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2442.N.20121026.1749.012.html>

表 1 汉语句际关系的层次和类型

Table 1 Levels and types of Chinese discourse relations

第 1 层: Class	第 2 层: Type	第 3 层: Subtype	
联合关系 (multi-nuclear)	并列(conjunction)	等立(coordinate)	
		时序(temporal)	
		选择(alternative)	
		递进(progression)	
		顺承(succession)	
		转折(contrast)	
主从关系 (single-nuclear)	对比(comparison)	让步(concession)	
		因果(cause)	
	推论(contingency)	结果(result)	
		目的(purpose)	
		假设(hypothetical)	
	扩展(expansion)	条件(condition)	解证(explanation)
			分述(list)
		总括(generalization)	重述(equivalence)

并列复句。有并列关系的两个小句之间语义相似度高,而非并列关系的两个小句之间语义相似度低,因此可以看作是语义相似度的排序问题,当相似度高于某个阈值时判定为并列关系,否则为非并列关系。本文综合使用了句子相似度、最大公共子串、最大谓词周边匹配长度、加重特定词汇复现以及即集成方法等多种不同的方法,取得了较为理想的效果。

1 相关研究

并列复句自动识别方法主要是计算句子相似度,将相似度大于某个阈值的相邻小句判定为并列关系。前人在句子相似度计算方面做了很多研究,其中很多工作是面向问答系统 QA 的实际需求,主要方法有基于句子表层信息的词汇相似度和基于词汇语义的语义相似度。具体方法有以下几种。

1) 词形相似度(WordSim)^[4-7],两个句子词语交集占两个句子词语并集的比例:

$$\text{WordSim}(S_1, S_2) = \frac{\text{SameWord}(S_1, S_2)}{\text{Word}(S_1) + \text{Word}(S_2) - \text{SameWord}(S_1, S_2)} \quad (1)$$

2) 句长相似度^[5-7](LenSim),两个句子的长度(词数)差占两个句子长度和的比例:

$$\text{LenSim}(S_1, S_2) = 1 - \frac{|\text{Len}(S_1) - \text{Len}(S_2)|}{\text{Len}(S_1) + \text{Len}(S_2)} \quad (2)$$

3) 词序相似度^[5-7](OrdSim),共同词在两个句

子的逆序数占最大逆序数的比例:

$$\text{OrdSim}(S_1, S_2) = 1 - \frac{\text{Rev}(S_1, S_2)}{\text{Max Rev}(S_1, S_2)} \quad (3)$$

基于词汇语义的句子相似度计算的基本方法是,将每个句子用词汇向量(式(4))来表示,两个句子的词语两两计算匹配得分:是同一个词时,得分为 1(或使用 tfidf 值^[7-9]),否则为 0。句子相似度由每行最大值相加之和占句子词语数的比例来衡量。该方法的缺点是句子包含词语较多时效果才好,没有考虑词语语义信息,必须严格的词形相同才能匹配得分。

$$\text{Matrix} = \begin{bmatrix} s(w_1, w'_1) & s(w_1, w'_2) & \dots & s(w_1, w'_m) \\ s(w_2, w'_1) & s(w_2, w'_2) & \dots & s(w_2, w'_m) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ s(w_n, w'_1) & s(w_n, w'_2) & \dots & s(w_n, w'_m) \end{bmatrix} \quad (4)$$

后续研究者对该方法提出了众多改进,例如:使用知网(HowNet)得到词语的语义项信息,当属于同一个语义项时就匹配得分^[8];使用知网的层级结构,计算得到词语间的相似度;使用同义词词林,当词语属于同一个类别时匹配得分;将句子的表征形式由词语替换成句中的依存句法关系,利用依存信息计算句子相似度^[7];利用得到的词语相似度结果,作为句子相关度计算中矩阵的权值^[7]。结合词汇语义信息或依存句法信息,使句子相似度计算更为精准。

面向句际关系分析的并列复句识别研究并不多见。周文翠等^[10]。采用支持向量机 SVM 模型来判别是否并列复句,选取了主语、谓语等特征,识别准确率为 84%。

英语研究中专门处理并列结构的文章并不多见,更多的文章是自动识别句际关系类型,并列只是其中一种关系类型。一般是将其作为一个分类问题,选择一个合适的分类器和一些合适的特征。Pitler 等^[11]探讨了隐性句际关系的识别问题,采取贝叶斯分类器,选取了多种不同的特征,包括词语极性、数量词、语言模型、动词语义类、特殊位置词语、语态、上下文句际关系和词对等。Lin 等^[12]同样是探讨隐性句际关系的识别,采用最大熵模型构造了 11 类的分类器,选取的特征包括上下文句际关系、短语结构树特征、依存分析树特征以及词汇特征。实验结果的准确率为 40%,短语结构树特征和词汇特征性能较好。Wang 等^[13]认为前人在句际

关系分析时主要使用的是词汇信息，或者只用到了扁平句法树信息，因此提出使用树核方法，将树核特征加入到 SVM 分类器中，隐性句际关系识别的准确率提升了 6.7%。

本文采用无指导的方法来自动识别并列复句，进行句际关系的辨识。判断相邻的两个小句是否形成并列关系，将并列复句显性标识出来，并将并列关系的小句捆绑成一个基础单元参与后续的句际关系分析。由于并列复句在汉语真实文本中分布非常广泛，而且往往处于句际层级结构树的底层，因此自动识别出并列复句可以大大降低汉语句际关系识别的难度。

2 本文方法

2.1 方法一：句子相似度

构成句子的基本单位是词，句子为词语的有序集合：小句 $S_1(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ，小句 $S_2(w'_1, w'_2, \dots, w'_m)$ 。构建小句间的词语相似度矩阵($n \times m$)，矩阵的元素为两个小句中对应词语的相似度，计算如下：

$$M[i][j] = \begin{cases} 1, & \text{if}(w_i = w'_j), \\ \text{sim}(w_i, w'_j), & \text{if}(w_i.\text{pos} = w'_j.\text{pos} \ \& \ \text{pos} \in \{v, n, a\}, \\ 0, & \text{其它}, \end{cases} \quad (5)$$

其中， $w.\text{pos}$ 表示词语 w 的词性，两个词语的相似度 $\text{sim}(w_i, w'_j)$ 基于大规模语料库计算获得^[14]。

小句间相似度在矩阵的两个方向同时计算：

$$\text{score}_1 = \text{sim}_1(S_1, S_2) = \frac{\sum_{i=1}^n \max_{j=1}^m M[i][j]}{n}, \quad (6)$$

$$\text{score}_2 = \text{sim}_2(S_1, S_2) = \frac{\sum_{j=1}^m \max_{i=1}^n M[i][j]}{m}. \quad (7)$$

2.2 方法二：最大公共子串

利用两个小句的最大公共子串，判定两个小句结构上的相似度。由于词形变化多样，会产生数据稀疏问题，因此选用词性信息。设两个小句的词性序列分别为 $S_1(\text{pos}_1, \text{pos}_2, \dots, \text{pos}_n)$ 和 $S_2(\text{pos}'_1, \text{pos}'_2, \dots, \text{pos}'_m)$ ，使用动态规划算法计算两个小句的最大公共子串长度 $\text{Common}(n, m)$ ：

$$\text{Common}(i, j) = \begin{cases} \text{Common}(i-1, j-1) + 1, & \text{pos}_i = \text{pos}'_j \\ \max\{\text{Common}(i-1, j), \text{Common}(i, j-1)\} & \text{pos}_i \neq \text{pos}'_j \end{cases} \quad (8)$$

初始条件： $\text{Common}(0, 0) = \text{Common}(0, j) = \text{Common}(i, 0) = 0$ 。

小句间相似度用最大公共子串占较短小句的长度的比例衡量：

$$\text{score}_3 = \frac{\text{Common}(n, m)}{\min\{\text{Len}(S_1), \text{Len}(S_2)\}}, \quad (9)$$

其中， $\text{Len}(S)$ 表示句子 S 所包含的词语长度。

2.3 方法三：最大谓词周边匹配长度

通常相似的句子有着类似的谓词结构，谓词前后的修饰部分会比较相似。

例 1 科学终究要战胜愚昧，正义终究要战胜邪恶。

理想的情况是找到两个句子的中心谓词，再比较两个中心谓词周边的结构。由于一个句子可能有多个谓词，在没有进行句法分析的情况下，只能猜测两个句子的中心谓词，并通过周边词性匹配的情况来推断小句结构的相似程度。

具体方法：取每个动词的上下文 3 个窗口，共 7 个词性的词串，以动词为中心，比较两个小句所有不同动词的对应情况，记录不同对应下两个动词周边词性匹配的长度，最大匹配的值 MaxMatchLength 为最终的得分，最大匹配时的动词即为猜测的小句中心谓词。

$$\text{score}_4 = \frac{\text{MaxMatchLength}}{\min\{\text{Len}(S_1), \text{Len}(S_2)\}}. \quad (10)$$

2.4 方法四：加重特定词汇复现

在汉语中，很多词的复现对于句子的并列关系有一定的提示作用，所以当这些词复现时，需要加重它们的权值。

1) 谓词的复现，包括一般谓词、能源动词和一些特殊谓词等。

例 2 各个国家能够始终和睦相处，能够建立起公正合理的国际政治经济新秩序。

2) 时态助词的复现，主要是动作的时态，包括“着”、“了”、“过”等。

例 3 拍摄了 360 多位中科院院士的人物传记，译制了各国优秀电视节目 1000 多小时。

3) 副词成分的复现，例如：

例 4 容易造成预算的随意性，容易滋生腐败。

4) 否定成分的复现，包括“没”、“不”、“非”等。

例 5 财政部做预算时不知道一个部门到底能拿

到多少钱,有的部门的负责人也不了解本单位从财政部到底拿了多少钱。

对特定词汇复现的权值加重,直接作用在式(4)所示的句子相似度矩阵 Matrix 上,如果两词相同,原来的该项权值 $M[i][j]=1$,加重后 $M[i][j]=M[i][j] \cdot \lambda_1$ 。对权值加重后重新构建句子相似度矩阵,得到新的句子相似度分值 $score_5$ 。

2.5 方法五:集成方法

使用线性加权和,对单独的有效方法进行集成:

$$score = \lambda_2 \cdot score_3 + \lambda_3 \cdot score_4 + \lambda_4 \cdot score_5 \quad (11)$$

其中, λ_2 , λ_3 和 λ_4 表示不同方法分值的权重,通过一个开发集语料获得。 $Score_3$, $Score_4$ 和 $Score_5$, 表示方法 2(最大公共子串)、方法 3(动词周边匹配)和方法 4(句子相似度基础上加重特定词复现)的计算分值。

3 实验结果

3.1 评测数据

基于《人民日报》2000年1月的语料,从中随机选取几个段落文本,依据标点符号“。! ? ; ……”将文本切割成句子,每个句子按照“,”逗点划分成小句序列,人工标注出句子的层级结构和关系类型。例如下面的句际关系标注句子:

例 6 {1}旧西藏交通险阻,【COOR,1,2】{2}行路艰辛,【CAUS,1-2,3】{3}货物运输、邮件传递全靠人背畜驮。

其中,COOR(并列)、CAUS(因果)等就是句际关系的标签。在并列和主从的区别标注上,两个标注者的一致性很高,达到了91%。

评测数据的简单统计如表2所示。若将所有关系都标注为最大频率的非并列,得到的基准准确率(baseline)是56.7%。从500个句子中挑选出200个句子作为开发数据,300个句子作为测试数据。开发数据用于训练获取参数 λ_1 (方法4)、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 (方法5)的值。

3.2 评测方法

使用准确率和召回率来对实验结果进行评价,分别定义如下:

表 2 评测数据的分布统计
Table 2 Distribution statistics of data

句子个数	句际关系	广义第一级并列	广义第一级非并列
500	706	306	400

$$准确率: P = \frac{\text{并列关系正确标注的个数}}{\text{自动标注的并列关系总数}}$$

$$召回率: R = \frac{\text{并列关系正确标注的个数}}{\text{语料中标注的并列关系总数}} \quad (12)$$

由于本文实现的多种不同方法中,分值 $score_1$ 、 $score_2$ 、 $score_3$ 、 $score_4$ 都是可调节的参数,当相似度大于某个阈值时判定为并列关系,否则为非并列关系。因此,准确率和召回率是一种此消彼长的关系,所以我们采用准确率-召回率曲线(P-R 曲线)来评价各种方法的优劣。通过调整阈值,对(R, P)点进行采样,取20~30个点进行曲线的拟合。

3.3 实验结果

3.3.1 句子相似度方法

$score_1$ 和 $score_2$ 是根据相似度矩阵从两个不同方向上计算得来的相似度分值,对并列关系的判定采用5种策略,实验结果如图1所示。

- ① $score_1 \geq \text{阈值}(score_1)$,
- ② $score_2 \geq \text{阈值}(score_2)$,
- ③ $(score_1 + score_2) / 2 \geq \text{阈值}(sum/2)$,
- ④ $score_1 \geq \text{threshold} \parallel score_2 \geq \text{阈值}(\parallel)$,
- ⑤ $score_1 \geq \text{threshold} \&\& score_2 \geq \text{阈值}(\&\&)$ 。

实验结果显示,性能从高到低依次是 $\&\> score_2 > sum/2 > \parallel > score_1$ 。 $score_1$ 为前面小句的每个词在后面小句中找最相似的词的得分, $score_2$ 为后面小句的每个词在前面小句中的最相似词的得分。 $\&\&$ 结果最好是因为要求两个方向的相似度得分都大于一定阈值,预测的并列关系更为准确。单用 $score_2$ 结果好于 $score_1$ 是因为语料中两个并列小句很多情况下是前长后短,前面小句会有一些附带成份,例如“人们仿佛穿越了中华民族上下五千年的历史长河,阅尽了世事变迁”,这样当计算 $score_2$ 即后面小句与前面小句时会得到较高的相似度,而计算 $score_1$ 即前面小句与后面小句时得到较低的相似度,所以 $score_2$ 结果优于 $score_1$ 结果。由于受到 $score_2$

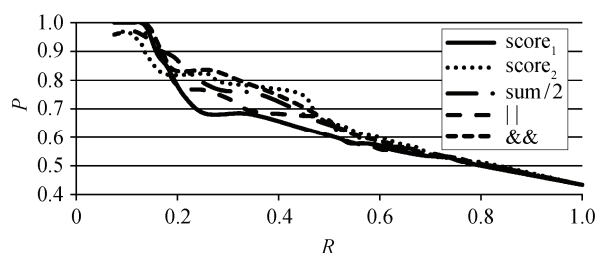


图 1 方法一:句子相似度的评测结果
Fig. 1 Experimental results of sentence similarity

的积极影响，条件较 $score_2$ 更为宽泛的 $sum/2$ 和 $||$ 在 $score_1$ 的基础均上有提升。前人在句子相似度计算研究中多是使用 $sum/2$ 的策略，本文的研究表明 $\&\&$ 策略在并列复句识别中更为有效。因此在后续的实验中，将选择最好的 $score_1$ 和 $score_2$ 结果。

3.3.2 三种方法的实验结果比较

使用最大公共子串($score_3$, 方法 2), 使用最大动词周边匹配长度($score_4$, 方法 3), 与实验(1)中的句子相似度方法($score_1$ 和 $score_2$, 方法 1)进行比较, 实验结果如图 2 所示。

实验结果显示, 方法 2(最大公共子串)与方法 1(句子相似度)效果相当, 方法 3(最大动词周边匹配长度)较差。最大动词匹配长度方法较差的原因有以下两点: 1) 猜测中心谓词的方法过于简单, 一个句子里可能会有多个动词, 判定中心谓词的准确率低; 2) 要求谓语前后修饰语词性完全一致才能匹配, 一旦插入其他成份则匹配不成功, 对谓语周边匹配的要求过于严格, 召回的并列关系比较少。而最大公共子串方法不要求词性序列严格一致, 只限制词语出现的相对前后位置, 所以得到了较好的结果。

3.3.3 加重特定词汇复现方法

在方法 1 的基础上对特定词汇复现加重权值(方法 4), 即 $M[i][j]=M[i][j] \cdot \lambda_1$, 根据开发集数据取 $\lambda_1=2$, 实验结果如图 3 所示。

实验结果显示, 用特定词复现方法调整权值,

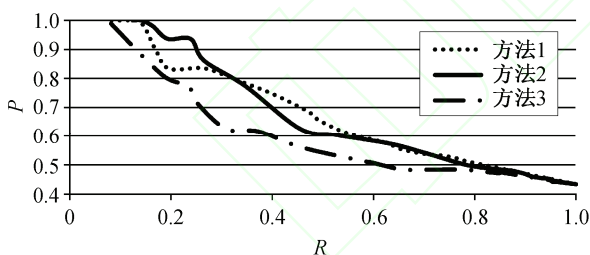


图 2 方法一、二、三实验结果的比较

Fig. 2 Comparison among evaluation results of method 1, 2 and 3

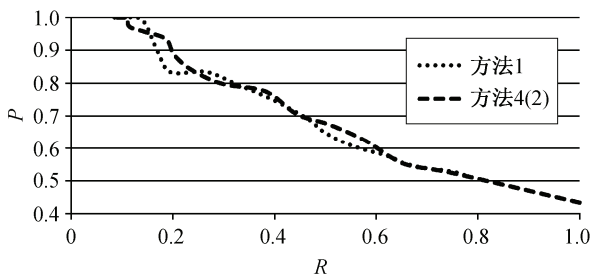


图 3 方法四：特定词复现的评测结果

Fig. 3 Experimental results of repetition of certain words

效果有些微提升, 说明谓词、时态助词、副词及否定词对句子结构上的相似有一定的提示作用。

3.3.4 集成方法

方法 4 建立在方法一的基础上, 方法四特定词复现较方法一有提升, 因此在集成时, 在方法 1、4 中选取方法 4。方法 2(最大公共子串)、方法 3(动词周边匹配)、方法 4(句子相似度基础上加重特定词复现)是从不同的角度、选用不同的特征对小句关系进行判断, 因此将 3 种方法进行集成。根据开发集数据, 3 种方法权值分别选择 $\lambda_2=0.3$ 、 $\lambda_3=0.1$ 、 $\lambda_4=0.6$ 。实验结果如图 4 所示。

实验结果显示, 不论单一方法效果的优劣, 集成后相比较每单一方法均有提升, 表明三种方法的信息相互补充, 对小句并列关系的判断都有提示作用。

3.4 错误分析

本文的并列复句识别主要是依据小句之间的相似度, 通过设置相似度的阈值来判定是否为并列复句。当阈值较高时, 将使得准确率上升而召回率下降; 当阈值较低时, 将使得准确率下降而召回率上升。观察语料发现, 自动判别的错误主要有以下原因。

1) 句子过短, 信息量不足, 例如“{1}是因为我懂了, [COOR,1,2] {2}我必须这样做”, 两个小句虽然只有一个相同的词语“我”, 但因句子过短导致相似度很高, 因而误判为并列复句。

2) 计算时需要判断两个逗号隔开的语段是否为小句, 是否存在句际关系。为了便于实验, 我们直接在逗号隔开的两个语段间计算相似度, 无法区分短语并列和小句间的并列关系。

3) 另一类错误是句际关系的论元跨越逗号的情况, 例如“{1}在人们长久的期待之后, {2}中华世纪坛与新千年携手展现在我们的面前, [COOR,1-2,3-4]{3}2000 年元旦, {4}一场万人的盛

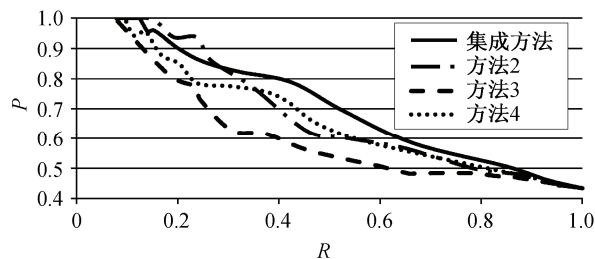


图 4 方法 2, 3, 4 与集成方法的评测结果

Fig. 4 Experimental results of method 2, 3, 4 and integrating method

会在此开启了千年庆典的序幕”中存在并列关系,并列的两个论元分别为逗号分开的第一、二个语段和第三、四个语段,第一、三个语段都是附加成分,主体在第二、四个语段,即这两个部分的语义和结构较为相似。但由于本文的方法只能计算逗号两侧相邻的语段,因此,此类并列关系无法识别出,造成错误。

4) 语言运用很复杂,而且我们的算法中未能很好地融合结构信息,导致非并列关系的小句之间也可以显现出较高的相似性。例如“{1}细化预算和提前编制预算,[COOR,1,2]{2}在每个财政年度开始前将中央预算草案全部编制完毕”,小句之间本是解析关系,但由于谓语中心“编制”相同,致使相似度很高而误判为并列复句。

4 结语

本文尝试识别汉语文本中的并列复句,即自动辨识小句之前是并列关系还是非并列关系。通过对句子语义相似度和结构相似度的计算进行并列关系的判别,具体使用了句子相似度矩阵、最大公共子串、谓词周边匹配长度和加重特定词语复现等方法。在广义并列关系上进行评测,比较分析了各方法效果的优劣,取得了较为理想的效果。

实验结果有如下几点:1)就单一方法而言,句子相似度矩阵、最大公共子串和特定词汇复现效果较好;2)在句子相似度矩阵基础上加重特定词汇复现、对矩阵权值进行调整改进,结果表明加重特定词汇复现较基准结果有提高;3)对使用不同角度的方法进行集成,集成后的结果较单一方法均有提高,表明各方法的信息量能相互补充。

本文采用的集成方法,在召回率为 20%的情形下,准确率为 93.6%;在召回率为 42%的情形下,准确率为 78.8%。这是一种无指导的方法,不需要标注数据的支撑,可初步满足应用的需求。

参考文献

- [1] Mann W, Thompson S. Rhetorical structure theory: towards a functional theory of text organization. *Text*, 1988, 8(3): 243-281
- [2] 廖秋忠. 廖秋忠文集. 北京: 北京语言学院出版社, 1992
- [3] 吴峰文. 基于主谓知识挖掘的分句语义关联研究. *语言文字应用*, 2011(4): 132-142
- [4] 张琳, 胡杰. FAQ 问答系统句子相似度计算. *郑州大学学报: 理学版*, 2010, 42: 57-61
- [5] 裴婧, 包宏. 汉语句子的相似度计算在 FAQ 中的应用. *计算机工程*, 2009, 35: 46-48
- [6] 周法国, 杨炳儒. 句子相似度计算新方法及其在问答系统中的应用. *计算机工程与应用*, 2008, 44: 165-167
- [7] 李彬, 刘挺, 秦兵, 等. 基于语义依存的汉语句子的相似度计算. *计算机应用研究*, 2003(12): 15-17
- [8] 王洋, 秦兵, 郑实福. 句子相似度计算在 FAQ 中的应用 // 第一届学生计算语言学研讨会论文集. 北京, 2002
- [9] 钟茂生. 基于内容相关度计算的文本结构分析方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009
- [10] 周文翠, 袁春风. 并列复句的自动识别初探. *计算机应用研究*, 2008(3): 764-766
- [11] Pitler E, Louis A, Nenkova A. Automatic sense prediction for implicit discourse relations in text // *Proceedings of ACL-2009*. Singapore, 2009: 683-691
- [12] Lin Z, Kan M, Ng H. Recognizing implicit discourse relations in the Penn discourse Treebank // *Proceedings of ACL-2009*. Singapore, 2009: 343-351
- [13] Wang W, Su J, Tan C. Kernel based discourse relation recognition with temporal ordering information // *Proceedings of ACL-2010*. Uppsala, 2010: 710-719
- [14] 石静, 邱立坤, 王菲, 等. 相似词获取的集成方法 // *中国计算语言学前沿进展(2009 - 2011)*. 北京: 清华大学出版社, 2011: 269-275