

基于中心理论的指代消解研究

孔芳 朱巧明 周国栋 钱培德

(苏州大学计算机科学与技术学院 苏州 215006) (江苏省计算机信息处理技术重点实验室 苏州 215006)

摘要 系统分析了在中心理论指导下语义角色在指代消解中的应用。首先使用性能良好的语义角色标注工具 ASSERT 自动进行语义角色的识别,然后将识别出的语义角色信息与代词类别特征相组合进行指代消解。以中心理论为基础来表示、使用语义角色信息。从 ACE 2003 语料库上的实验结果可以看到,引入语义角色后,与基准系统相比,系统的 F 值提高了 2.2%。特别是代词的指代消解,从实验结果可以看到,性能得到了大大提升。

关键词 指代消解, 语义角色, 中心理论

Coreference Resolution Based on Center Theory

KONG Fang ZHU Qiao-ming ZHOU Guo-dong QIAN Pei-de

(School of Computer Science and Technology, Soochow University, Jiangsu, Suzhou 215006, China)

(Key Lab of Computer Information Processing Technology of Jiangsu Province, Suzhou 215006, China)

Abstract We systematically explored the use of semantic roles in coreference resolution. Here, the semantic roles were automatically determined using a state-of-the-art SRL system, ASSERT, and integrated into the resolution by combining them with pronoun categories. In particular, this paper employed the semantic roles information based on center theory. Experimental results on the ACE 2003 corpus show that our method can outperform the baseline system by 2.2% in F-measure. Especially for pronoun, the experiments show that the refine system using semantic roles information can significantly boost the performance of the baseline for pronoun resolution.

Keywords Coreference resolution, Semantic role, Center theory

1 引言

指代(Anaphora)是自然语言中广泛存在的一种现象,可分为两种:回指(Anaphora)和共指(Coreference)。其中,回指是指当前的指代语与上下文出现的词、短语或句子(句群)存在密切的意义关联性;共指是指两个实体指向真实世界中的同一参照物。目前的指代消解研究主要侧重于共指消解,即判断文章中不同的名词性短语是否指向同一个实体。

随着篇章理解、机器翻译以及问答系统等自然语言处理相关研究的不断深入,指代消解日益成为研究热点。近年来,指代消解的研究已从基于规则的方法转入了基于机器学习的方法。目前大多数基于机器学习的指代消解研究的基本框架都沿用了 Soon 等^[6]提出的框架结构,其基本思想是将指代消解理解成一个二元分类问题。基本过程包括:首先从标注好的训练语料中提取各类词法、语法和语义特征,生成指代消解的训练实例集,利用 SVM、最大熵等分类器训练得到分类器模型;然后利用分类器模型对测试样例进行分类,给出样例对之间可能存在指代关系的概率。在这一思想的指导下,很多研究者做了大量的工作,也取得了一定的成功。Ng 等^[7]对 Soon 等^[6]的研究进行了扩充,抽取了 53 个不同的词法、语法

和语义特征;Yang 等^[8]提出了一个双候选模型,直接学习各先行语候选之间的竞争关系,以更好地确定先行语;Yang 等^[9]探索了先行语候选指代链中的语义信息在代词(特别是中性代词)指代消解中的作用;Yang 等^[10]将聚类方法与特征方法相结合,较大地提升了系统的性能。随着研究的深入,研究者发现语义信息在指代消解(特别是代词的指代消解)中起到非常重要的作用,不可或缺。

近年来,许多研究人员都尝试将各类语义信息引入指代消解。Yang 等^[10]分别利用语料库和 Web 信息做了语义方面的尝试。对话料库,他们统计了几种固定语义模式(例如所有格+名词,主语+动词,动词+宾语等)的出现频度;对 Web 页面,则借助 Google 和 Altavista 这样的搜索引擎进行固定语义模式的统计。统计得到的结果再作为特征之一参与后续的指代消解工作。在 2005 年研究的基础上, Yang 等^[11]又提出了一种自动获取并评估语义模式的方法,根据得到的语义模式进行语义相关信息的挖掘,再将获得的信息应用于指代消解,取得了较好的效果。Ng 等^[12]发现前人对语义类的使用仅限于否定不同语义类之间的指代关系,而对于专有名词却很难确定语义类。在分析研究的基础上,他们提出了自动推导语义类,并将得到的信息应用于指代消解。首先借

到稿日期:2008-07-01 返修日期:2008-10-01 本课题受“863”国家高技术研究发展计划(2006AA01Z147),国家自然科学基金(60673041),高等学校博士学科点专项科研基金(20060285008)和苏州市高层次人才资助项目的资助。

孔芳 女,博士研究生,研究方向为自然语言处理, E-mail: kongfang@suda.edu.cn;朱巧明 男,博士生导师,教授,研究方向为自然语言处理、网络计算;周国栋 男,博士生导师,教授,研究方向为自然语言处理;钱培德 男,博士生导师,教授,研究方向为中文信息处理。

助 BBN 实体类型语料库训练生成分类器,将名词按 ACE 中指定的 6 种语义类分类;接着生成 SCA(语义类是否一致)和 KS(是否为 ACE 中的指定语义类)两个新特征;再将这两个特征引入一般的指代消解器,完成指代消解工作,较大地提升了系统的性能。

本文使用 Soon 等^[6]给出的基于机器学习的指代消解基本框架,以 ACE2003 NWIRE 为实验语料,在分析基准系统实验结果的基础上,以中心理论为依据,引入了语义角色信息。并详细讨论了语义角色特征对指代消解,特别是代词指代消解的贡献度。

2 基准系统及实验结果分析

2.1 基准系统

本文实现了 Soon 等^[6]给出的基于机器学习的指代消解平台,并将它作为实验的基准系统。基准系统使用的特征集如表 1 所列。

表 1 指代消解特征集

ANPronoun	照应语是代词取 1,否则 0
ANDefiniteNP	照应语是有定名词短语取 1,否则 0
ANDemonstrativeNP	照应语是指示性名词短语取 1,否则 0
CAPronoun	先行语是代词取 1,否则 0
ANCAGenderAgreement	照应语和先行语满足词性一致取 1,不一致取 0
ANCANumberAgreement	照应语和先行语满足单复数一致取 1,不一致取 0
ANCAAppositive	照应语和先行语是同位取语 1,否则取 0
ANCAHeadStringMatch	如果照应语和先行语满足中心词匹配取 1,否则取 0
ANCASentDistance	照应语和先行语在一句内取 1,两句取 0.9,... 大于 10 句取 0
ANCAWORDSENSE	从 Word Net 中获得的语义信息类有相同的为 1,不同为 0
ANCABothProperName	照应语和先行语候选词均为专有名词取 1,否则取 0
ANCANameAlias	照应语和先行语候选词存在别名关系取 1,否则取 0

2.2 实验结果及分析

基准平台使用 SVM 分类器,使用国际标准评测工具 MUC Scroer 在 ACE 2003 NWIRE 上的实验结果如表 2 所列。

表 2 基准系统在 ACE2003 NWIRE 上的实验结果

词类别	正确消解	共消解	Recall	Precision	F 值
所有名词	769	1193	51.9	64.5	57.5
代词	261	395	—	66.1	—
专有名词	389	474	—	82.1	—
有定名词	19	24	—	79.2	—
无定名词	103	788	—	13.1	—
指示性词	0	0	—	0	—

需要说明的是,ACE2003 NWIRE 实验数据的测试集上共标注具有指代关系的词 1482 个,而我们的平台经过预处理后,有部分名词性短语丢失,保留的具有指代关系的词为 1331 个,匹配率为 89.8%(也就是具有指代关系的实体的识别率为 89.8%),这 1331 个具有指代关系的词按类别的分布情况如表 3 所列。

表 3 ACE2003 NWIRE 测试集中具有指代关系的词的类别分布情况

类别	代词	专有名词	有定名词	无定名词	指示性名词	未知	总数
个数	449	485	65	193	11	128	1331

结合表 2 的结果和表 3 给出的类别分布可以看出,基准系统对专有名词的处理效果较好,而对其他几类词的消解都

有一定的提升空间,其中代词所占比重最大。因此,本文后续的工作主要针对代词展开。

3 改进指代消解系统

3.1 语义角色

指代消解研究的是篇章中两个名词性短语是否指向现实世界的同一个实体,因此语义信息对指代消解任务来说是至关重要的。与 Soon^[6]的方法类似,我们借助 WordNet 获取实体语义类别的信息,并将指示词与先行语是否语义类别一致作为一个特征。此外,我们还引入了语义角色相关的信息,试图更加细致地描述指示词和先行语。

语义角色是句子中的名词短语在相应动词驱动下所承担的语义成分,可以利用语义角色标注(Semantic Role Labeling)来获得语义角色。语义角色标注是浅层语义分析(Shallow Semantic Parsing)的一种实现方式。浅层语义分析是指根据句子的句法结构和句中每个实体的词义推导出能够反映这个句子意义的某种形式化表示。如图 1 所示,虽然它们的表述形式不同,但表示成语义的形式却统一为“hit (John, Bill)”。核心的语义角色包括 6 种,其中 Arg0 通常表示动作的施事者,Arg1 通常表示动作的影响等等,其余的语义角色为附加语义角色,使用 ArgM 表示,例如 ArgM-LOC 表示地点,ArgM-TMP 表示时间等等。目前绝大多数 SRL 工具对 Arg0 和 Arg1 的标注结果较好,准确率都达到了 90%以上。考虑到系统对 SRL 的依赖度,此外我们之前引入的语义类别是否一致的特征在一定程度上与 ArgM-LOC,ArgM-TMP 等附加角色体现的语义类别信息类似,因此本文仅考虑了 Arg0 和 Arg1 这两个语义角色。

- John hit Bill.
- Bill was hit by John.

图 1 英文语态示例

本文使用的 SRL 工具是 ASSERT,在 ACE2003 NWIRE 语料库中,经它标注后,训练集中共标注出 4773 个 Arg0 和 8351 个 Arg1,测试集中标出的 Arg0 和 Arg1 分别为 1379 和 2416 个。

驱动动词在语义角色信息的描述中具有非常重要的作用,同一个名词性短语可能是动词 A 驱动下的 Arg0 角色,又是动词 B 驱动下的 Arg1 角色。因此在描述语义角色相关特性时,我们还引入了两个与驱动动词相关的特征。表 4 给出了与语义角色相关的特征。

表 4 语义角色相关的特征集合

ANArg0	照应语在句子中承担施事者角色取 1,否则 0
ANArg1	照应语在句子中承担受事者角色取 1,否则 0
CAArg0	先行语在句子中承担施事者角色取 1,否则 0
CAArg1	先行语在句子中承担受事者角色取 1,否则 0
ANArg0MainVerb	照应语在句子中承担的施事者角色是由句子主动词驱动的取 1,否则 0
ANArg1MainVerb	照应语在句子中承担的受事者角色是由句子主动词驱动的取 1,否则 0
CAArg0MainVerb	先行语在句子中承担的施事者角色是由句子主动词驱动的取 1,否则 0
CAArg1MainVerb	先行语在句子中承担的受事者角色是由句子主动词驱动的取 1,否则 0
ANCASameTarget	照应语和先行语承担的语义角色中存在同一动词驱动的情况取 1,否则 0

本文认为句子的主动词就是句法分析树中最上层的动词。例如语句“Civilians reportedly celebrated in the streets.”经过句法分析得到的句法树为“(S (NP (NNS Civilians)) (ADVP (RB reportedly)) (VP (VBD celebrated) (PP (IN in) (NP (DT the) (NNS streets)))) (.))”。遍历该树可知,最顶层的动词是“celebrated”,本文认为它就是这一语句的主动词。

3.2 中心理论

中心理论是计算语言学中的一个理论模型,主要分析代词在语篇中的分布规律,以及影响代词实现的各种条件。中心理论详细、全面地论述了代词是如何促进语篇连贯的(Gordon, 1993),它指出语句中出现的所有话语实体都是语篇的中心,这些中心在前后语句中的突显程度以及它们的语言实现形式都会影响到语篇的连贯性。语篇是以中心为基础连接前后语句的,每一语句都有两种中心:前向中心(forward-looking center, Cf)和回溯中心(back-looking center, Cb)。Cf提供了与后继语句联系的纽带,包括一系列的对象,这些对象按照在注意状态中突显度的不同形成一定的等级排列。Cb只包含一个对象,它与先前语句建立联系。

中心理论有一条重要的规则:识别 Cb 的条件。它认为前一语句 Cf 中突显度最高的一个对象就是本句的 Cb。并且当本句包含其他代词时,Cb 必须以代词的形式来表示。如违反这一规则,就会造成这句话阅读时间的增加。Grosz, Sinder 等人^[3]进一步研究发现,在语句中 Cb 不受出现的先后次序和实施/受施等元角色的影响,表层位置也不会影响 Cb。但表层位置和句法位置会影响 Cf 中对象突显度的不同。

从这一规则可以看到,一篇连贯性较好、便于读者阅读的文本中,必然有以下一些特征:

- 前一句 Cf 中突显度最高的一个对象是本句的 Cb,而 Cf 中对象的突显性与表面位置、语义角色等诸多要素相关。因此在指代消解中,对先行语信息的描述应尽可能地详细。

- 当本句包含其他代词时,语句中的 Cb 必须以代词的形式出现。因此在代词指代消解中,可引入“语句中是否含有多个代词”这一特征。

- Cb 不受位置、语义角色等特性的影响。我们通常认为语法上具有最多与照应语相似特征的先行语最可能与照应语具有同指关系。但当照应语是代词形式的 Cb 时,根据中心理论,Cb 不受表面特征的影响,对称加入照应语和先行语的描述信息,可能会带来更多的噪音。

根据上述分析,我们对引入的语义角色特征和基准系统中使用的 12 个基本信息进行了调整,调整后的特征情况如表 5 所列。

从表 5 中可以看到,我们对照应语的描述仅包含它是具体哪类代词,以及它所属语句中是否包含多个代词。对先行语的描述则包含了名词类别信息、所属代词类别信息、角色信息等,试图较准确地体现其突显度。此外还包含了先行语和照应语间的基本关系,这部分与基准系统相同。

表 5 调整后的特征集

特征名称	描述
ANPronounType	照应语为代词时,所属的代词的具体类别(包括第一人称、第二人称、第三人称代词,中性代词、反身代词等)
ANMutiPronoun	照应语所在语句是否存在多个代词
CACategory	先行语的类别(包括专有名词、代词、有定、无定、指示性名词等)
CAPronounType	先行语为代词时,所属的代词的具体类别

CAArg0	先行语在句子中承担施事者角色取 1,否则 0
CAArg1	先行语在句子中承担受事者角色取 1,否则 0
CAArg0MainVerb	先行语在句子中承担的施事者角色是由句子主动词驱动的取 1,否则 0
CAArg1MainVerb	先行语在句子中承担的受事者角色是由句子主动词驱动的取 1,否则 0
ANCASameTarget	照应语和先行语承担的语义角色中存在同一动词驱动的情况取 1,否则 0
ANCAGenderAgreement	照应语和先行语满足词性一致取 1,不一致取 0
ANCANumberAgreement	照应语和先行语满足单复数一致取 1,不一致取 0
ANCAApositive	照应语和先行语是同位语 1,否则取 0
ANCAHeadStringMatch	如果照应语和先行语满足中心词匹配取 1,否则取 0
ANCASentDistance	照应语和先行语在一句内取 1,两句 0.9, ..., 大于 10 句 0
ANCAWORDSENSE	从 Word Net 中获得的语义信息类有相同的为 1,不同为 0
ANCABothProperName	照应语和先行语候选词均为专有名词取 1,否则取 0
ANCANameAlias	照应语和先行语候选词存在别名关系取 1,否则取 0

3.3 实验结果及分析

根据中心理论对特征进行调整后,同样在 ACE2003 的 NWIRE 语料上进行了实验,结果如表 6 所列。

表 6 新系统在 ACE2003 NWIRE 上的实验结果

词类别	正确消解数	消解数	Recall	Precision	F 值
所有名词	786	1153	53	68.2	59.7
代词	297	462	—	64.3	—
专有名词	381	466	—	81.8	—
有定名词	17	22	—	77.3	—
无定名词	69	165	—	41.8	—
指示性词	0	0	—	0	—

从表 6 中可以看到,若以正确识别的 449 个具有指代关系的代词实体计算,相比基准系统中对代词的处理结果($R: 265/449=59, P: 265/395=67.1, F: 62.8$),新系统共对 462 个代词进行了消解,其中正确消解 297 个, R 为 66.1, P 略有下降,为 64.3, F 值为 65.2。此外,新系统对有定名词和无定名词都有一定的影响,准确率大大提升,而召回率只是略有下降。但对专有名词而言,系统的性能指标都略有下降。显然,引入语义角色信息,能改善指代消解的性能,特别对代词的指代消解作用明显。

为了进一步分析调整后的特征对代词起作用的具体情况,我们又针对不同类别的代词和不同距离内的代词分别进行了实验,实验结果如表 7 和表 8 所列(表中的 6 个反身代词,有 4 个是第二人称代词、2 个是第三人称代词)。

从表 7 中可以看到,引入角色信息后,系统对各类人称代词的消解性能大大提高,准确率和召回率都有了一定程度的提高。对于中性代词,召回率略有下降,而准确率大大提升。对反身代词而言,引入的角色信息产生了负面效应,召回率和准确率都略有下降。

表 7 新系统在 ACE2003 NWIRE 上对各类代词的消解结果

代词类别	测试集分布	基准系统		调整后的新系统		准确率	
		正确消解	共消解	正确消解	共消解		
第一人称代词	103	60	109	55	65	78	83.3
第二人称代词	16	10	23	43.5	11	12	91.7
第三人称代词	179	131	183	71.6	141	175	80.6
中性代词	151	82	270	30.4	77	196	39.3
反身代词	6	5	9	55.6	4	8	50

表 8 给出了不同距离区域内代词的消解结果,可以看到,1 句以内,系统的准确率大大提升,召回率略有下降;2 句范围内,系统的召回率和准确率都有所提升;3 句范围内,在召回率提升的同时,准确率稍有下降。

表 8 新系统在 ACE2003 NWIRE 上对不同距离内的代词的消解结果

距离	代词数	基准系统		调整后的新系统			
		正确消解数	消解数	Precision	正确消解数	消解数	Precision
1 句以内	254	164	301	54.5	154	244	63.1
2 句以内	403	241	407	59.2	269	423	63.6
3 句以内	430	258	383	67.4	295	460	64.1
全部	449	265	395	67.1	297	462	64.3

结束语 本文在 Soon 等^[6]提出的指代消解平台基本框架之上,利用语义角色标注工具从句法树中获取语义角色信息,将它们作为一类特征引入机器学习的过程,并在中心理论的指导下,对各类特征进行了调整。使用 ACE 2003 NWIRE 语料库进行训练和测试,实验结果表明,语义角色信息能显著提升代词指代消解的召回率,同时其准确度略有下降,总体性能提升了约 2.4%。通过对代词的分类实验表明,语义角色信息的引入,对代词中人称代词的消解作用非常明显,准确率和召回率都有了明显提升;对中性代词而言,仅引入语义角色信息,能提升其准确率,但消解的效果仍然不够理想。对代词进行的不同距离内消解情况的实验表明,语义角色信息对短距离(2 句以内)作用明显,但随着距离的增长,作用逐渐减小。

就代词而言,从本文中介绍的实验结果可以看出,目前代词指代消解的瓶颈仍然是中性代词,因为它蕴含了较少的语义信息。未来,在引入语义角色信息的基础上,我们将借助结构化信息,针对如何高效地获取语义类别信息开展中性代词消解的进一步研究。

参考文献

[1] Brennan S E, Friedman M W, Pollard C J. A centering approach to pronouns[C]//Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Cambridge, Mass., 1987; 290-292
 [2] Aone C, Bennett W W. Evaluating automated and manual acqui-

sition of anaphora resolution strategies[C]//ACL'1995. 1995; 122-129

[3] Grosz A J, Weinstein S. Centering: a framework for modeling the local coherence of discourse [J]. Computational Linguistics, 1995, 21(2): 203-225
 [4] Mitkov R. Robust pronoun resolution with limited knowledge. COLING-ACL, Montreal, Canada, 1998; 869-875
 [5] Kibble R, College G. A Reformulation of Rule 2 of Centering [J]. Computational Linguistics, 2001, 27(4): 579-587
 [6] Soon W M, Ng H T, Lim. A machine learning approach to coreference resolution of noun phrase [J]. Computational Linguistics, 2001, 27(4): 521-544
 [7] Ng V, Cardie C. Improving machine learning approaches to coreference resolution[C]//Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2002
 [8] Yang X F, Zhou G D, Su J, et al. Coreference Resolution Using Competition Learning Approach[C]//ACL'2003. Sapporo, Japan, July 2003; 176-183
 [9] Yang X F, Su J, Zhou G D, et al. Improving pronoun resolution by incorporating coreferential information of candidates[C]//ACL'2004. Barcelona, Spain, July 2004; 127-134
 [10] Yang X F, Su J, Tan C L. Improving Pronoun Resolution Using Statistics-based Semantic Compatibility Information[C]//ACL'2005. Univ. of Michigan-Ann Arbor, USA, June 2005; 165-172
 [11] Yang X F, Su J. Coreference Resolution Using Semantic Relatedness Information from Automatically Discovered Patterns[C]//ACL'2007. Prague, Czech Republic, June 2007; 528-535
 [12] Ng V. Semantic Class Induction and Coreference Resolution[C]//ACL'2007. Prague, Czech Republic, June 2007; 536-543
 [13] Ng V. Shallow semantics for coreference resolution[C]//IJCAL. 2007; 1689-1694
 [14] Zhou G D, Kong F, Zhu Q M. Context-sensitive convolution tree kernel for pronoun resolution[C]//IJCNLP, 2008

(上接第 218 页)

$V_1 = \{v \in V' : |\{p_i \in X_u^0 : v(p_i) = 1\}| < \omega \& |\{p_i \in X_u^1 : v(p_i) = 0\}| < \omega\}$ 的 essential 原子。假如 $V_1 = \emptyset$, 结论成立。假如 $V_1 \neq \emptyset$, 继续做 V_1 , 直到剩下的集合是空集。

其次证明充分条件:

假设任意的仅在 $p_i \in L$ 处赋值不同的两个赋值 x, y , 那么 $x \approx y$ 。那么由

$\{v \in V' : |\{p_i \in X_u^0 : v(p_i) = 1\}| < \omega \& |\{p_i \in X_u^1 : v(p_i) = 0\}| < \omega\}$ 的定义和注释 1, 我们就有对任何的 $u \subseteq V'$
 $x \in V \setminus \{v \in V' : |\{p_i \in X_u^0 : v(p_i) = 1\}| < \omega \& |\{p_i \in X_u^1 : v(p_i) = 0\}| < \omega\}$

$\Leftrightarrow y \in V \setminus \{v \in V' : |\{p_i \in X_u^0 : v(p_i) = 1\}| < \omega \& |\{p_i \in X_u^1 : v(p_i) = 0\}| < \omega\}$

又由 V 是由一些如下形式的集合的并组成

$\{v \in V' : |\{p_i \in X_u^0 : v(p_i) = 1\}| < \omega \& |\{p_i \in X_u^1 : v(p_i) = 0\}| < \omega\}$

那么我们就有 $x \in V \Leftrightarrow y \in V$ 。所以任意的原子都不是 V 的本质原子。

结束语 上述定理可表述为:任何原子都不是赋值集 V 的 essential 原子当且仅当等价的赋值都属于或者都不属于 V , 这类似于 Makinson 给出的关于公式集的命题, 该公开问题被我们完全解决。

把关于公式集的 essential 原子的概念引入赋值集上是刚

刚开始的研究工作, 据我所知, 除了文献[1]外, 国内外均没有更多的研究了。今后我们将把该等价关系“ \approx ”应用到缺省推理^[4]、占优赋值推理^[5,6]以及信念更新^[7-9]中, 讨论一些特殊的赋值集下的推理关系等。

参考文献

[1] Makinson D. Friendliness for Logicians [J]. We Will Show Them. 2005(2); 259
 [2] 陆钟万. 面向计算机科学的数理逻辑[M]. 北京: 科学出版社, 1998
 [3] Enderton H B. A Mathematical Introduction to Logic (Second Edition)[M]. Elsevier Science & Technology, UK, 2001
 [4] 韩庆, 林作铨. 不协调知识的缺省推理[J]. 软件学报, 2004, 7: 1030
 [5] 朱朝晖, 李斌, 朱梧. 单可表示类的特征[J]. 计算机学报, 2001 (06); 568
 [6] 戈也挺, 朱朝晖, 陈世福. 行动推理中若干问题的研究[J]. 计算机科学, 2000(3); 85
 [7] Wu M, Zhang M. Maximal invariable update operator based on Splitting[J]. RSKT2008, LNAI 5009; 418-425
 [8] Wu M, Zhu Z, Zhang M. Partial meet contraction based on relevance criterion[J]. IMECS, 2008; 7-12
 [9] 吴茂念. 基于分离的信念更新研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008